

Estudio del aparejo de un velero y su elección en función del programa de navegación. Comparación de la configuración de cuatro veleros de 41 pies.

Trabajo Final de Grado



Facultat de Nàutica de Barcelona
Universitat Politècnica de Catalunya

Trabajo realizado por:
Antoni Xavier del Río Bes

Dirigido por:
Jordi Torralbo Gavilán

Grau en Ingeniera de Sistemas y Tecnología Naval

Barcelona, 09/07/2018

Departamento de Ciencia e Ingeniería Náutica



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Facultat de Nàutica de Barcelona



Agradecimientos

Me gustaría agradecer al profesor Jordi Torralbo, tutor de este trabajo final de grado, por su gran colaboración y sus, siempre buenas, aportaciones. También a Francisco Soldevila y Pep Soldevila, de Tack Velas, por sus aportaciones técnicas como profesionales del sector con más de 40 años de experiencia. A Berta Gómez por su gran ayuda y tiempo dedicado. Y a mi familia y amigos por confiar en mí.

Resumen

Las velas suelen ser objeto de libros o trabajos, pero, para poder obtener un buen funcionamiento de las mismas, es necesario conocer en profundidad todos los elementos que las acompañan, como son las perchas, la jarcia o el hardware.

Se entiende por perchas el conjunto de palos rígidos que hay en un barco, tanto verticales como horizontales, que sirven para sujetar y orientar las velas: el mástil, la botavara, la contra, el tangón o el botalón.

La jarcia se divide entre jarcia firme y jarcia de labor. La jarcia firme comprende los cables que sujetan el palo y la de labor, la cabuyería que permite maniobrar las velas.

El hardware abarca aquellos elementos que tienen como función principal reducir esfuerzos y facilitar el ajuste de las velas. Algunos ejemplos son las poleas, los winches o los sistemas de almacenado o enrolladores.

El principal objetivo del trabajo es crear una guía que permita conocer el funcionamiento de todos estos elementos y analizar las diferentes configuraciones que se presentan en los barcos de crucero y de regata, así como cuál ha sido su evolución en los últimos 50 años.

Para ello se realiza la comparación entre 4 veleros de 41 pies, lo que equivale a 12 metros de eslora, con diferentes programas de navegación y diferenciando entre los años 70-90 y la actualidad.

Una de las conclusiones que se ha podido extraer es que, en función del programa de navegación, las necesidades de un velero varían y que, conociendo el funcionamiento de los elementos, se puede modificar y mejorar la configuración de cualquier velero.

Abstract

The sails on a sailing boat are usually the subject of books and or thesis, but in order to obtain a good performance of them, it is necessary to know in depth all the elements that accompany them, such the standing rigging, the running rigging or the hardware.

Standing rigging are the set of rigid sticks on a boat, both vertical and horizontal, which serve to hold and guide the sails: the mast, the boom, the vang, the spreaders, the spinnaker pole or the bowsprit.

The running rigging are the ropes, such as sheets or halyards, that allows maneuvering the sails.

The hardware covers all the elements that have as the main function to reduce the efforts and help the adjustment of the sails. Some examples are the pulleys, winches, storage systems or reels.

The main objective of the project is to create a guide that allows knowing the performance of all these elements and to analyze the different configuration that appear in the cruise boats or in regatta ones, as well as the development that has been done in the last 50 years.

To do this, the comparison between 4 sailboats of 41 feet (12 meters) has been done, with different navigation programs and different gaps in the years 70-90 and nowadays.

One of the conclusions that have been drawn is that, depending on the navigation program, the needs of a sailboat vary and, knowing the behavior of the elements, you can modify and improve the configuration of any sailboat.

Tabla de contenidos

AGRADECIMIENTOS	III
RESUMEN	V
ABSTRACT	VI
TABLA DE CONTENIDOS	VII
LISTADO DE ILUSTRACIONES	X
LISTADO DE TABLAS	XIV

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
---------------------------------	----------

CAPÍTULO 2. ELEMENTOS DE UN VELERO	3
---	----------

2.1 FUNDAMENTOS DE LA NAVEGACIÓN A VELA	3
2.2 VELAS	3
2.2.1 MAYOR	3
2.2.2 GÉNOVA Y FOQUE	6
2.2.3 VELAS PARA VIENTOS PORTANTES	8
2.3 PERCHAS	12
2.4 JARCIA	13
2.5 HARDWARE	14

CAPÍTULO 3. PERCHAS	15
----------------------------	-----------

3.1 MÁSTIL	15
3.1.1 SISTEMAS DE UNIÓN	16
3.1.2 SECCIÓN DEL MÁSTIL	18
3.1.3 ENROLLADOR	19
3.1.4 EQUIPAMIENTO	23
3.2 BOTAVARA	30
3.2.1 SISTEMAS DE UNIÓN	31
3.2.2 TIPOS DE BOTAVARA	36
3.2.3 EQUIPAMIENTO	39
3.3 TANGÓN	40
3.4 BOTALÓN	42
3.5 MATERIALES	44

CAPÍTULO 4. JARCIA FIRME	47
---------------------------------	-----------

4.1 ELEMENTOS DE LA JARCIA Y SU NOMENCLATURA	47
---	-----------

4.2 JARCIA CONTINUA (OBENQUES)	52
4.3 JARCIA DISCONTINUA (OBENQUES)	53
4.4 SUJECIÓN DEL MÁSTIL Y ESFUERZOS	55
4.4.1 SUJECIÓN DEL MÁSTIL	55
4.4.2 ESFUERZOS	58
4.5 APAREJO A TOPE DE PALO	58
4.6 APAREJO FRACCIONADO	59
4.6 DESCRIPCIÓN Y MATERIALES DE LOS CABLES	60
4.6.1 VARILLA O ROD	60
4.6.2 MONO CORDÓN 1X19	61
4.6.3 DYFORM	62
4.6.4 CABLE CLÁSICO DE OBENQUE	62
4.6.5 CABLE FLEXIBLE	63
4.6.6 CABLE EXTRA FLEXIBLE	64
4.6.7 TEXTIL	65
4.6.7 CRITERIOS DE ELECCIÓN	65
4.7 UNIÓN ENTRE EL TERMINAL Y EL CABLE	66
4.7.1 TERMINALES PRENSADOS	67
4.7.2 TERMINALES MECÁNICOS	69
4.7.3 TERMINALES DE VARILLA	70
4.8 TENSORES	71
4.9 TERMINALES	73
4.9.1 TERMINAL EN ROSCA	74
4.9.2 TERMINAL EN HORQUILLA	74
4.9.3 TERMINAL EN <i>TOGGLE</i>	75
4.9.4 TERMINAL EN OJO	75
4.9.5 TERMINAL EN “T”	76
4.9.6 TERMINAL EN BOLA	76
4.10 ACCESORIOS PARA LOS TERMINALES	77
 CAPÍTULO 5. CABUYERÍA	 81
 5.1 MATERIALES	 81
5.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	82
5.3 FIBRAS	85
5.2.1 POLIÉSTER	85
5.2.2 POLIAMIDA	86
5.2.3 POLIPROPILENO	86
5.2.4 UHMWPE (DYNEEMA, SPECTRA)	86
5.2.5 LCP (VECTRAN)	87
5.2.6 PBO (ZYLON)	87
5.2.6 ARAMIDA (KEVLAR, TECHNORA)	88

5.4 COMPARACIÓN	88
5.3 SISTEMAS DE FABRICACIÓN	91
5.5 DRIZAS	96
5.6 MANIOBRA	97
CAPÍTULO 6. HARDWARE	99
6.1 ELEMENTOS	99
6.2 ENROLLADORES Y SISTEMAS DE ALMACENADO	105
CAPÍTULO 7. EVOLUCIÓN, PROGRAMA DE NAVEGACIÓN Y COMPARACIÓN DE 4 VELEROS DE 41 PIES	108
7.1 EVOLUCIÓN	108
7.2 PROGRAMA DE NAVEGACIÓN	108
7.2.1 CRUCERO	108
7.2.2 CRUCERO-REGATA	109
7.2.3 REGATA	109
7.3 SELECCIÓN DE 4 VELEROS DE 41 PIES	111
7.3.1 BELLIORE 40	112
7.3.2 X-1 TON	114
7.3.3 HANSE 418	117
7.3.4 X-41	120
7.4 COMPARACIÓN DE 4 VELEROS DE 41 PIES	124
7.4.1 TABLAS COMPARATIVAS	124
7.4.2 COMPARACIÓN ENTRE BELLIORE 40 Y HANSE 418	125
7.4.3 COMPARACIÓN ENTRE EL X-1 TON Y EL X-41	126
7.4.4 POSIBLES MEJORAS A REALIZAR	128
CAPÍTULO 8. CONCLUSIÓN	130
BIBLIOGRAFÍA	133

Listado de Ilustraciones

<i>Ilustración 1 - Rumbos a vela. Fuente: Web velasyviento.com.....</i>	<i>3</i>
<i>Ilustración 2 - Vela mayor. Fuente: propia.....</i>	<i>4</i>
<i>Ilustración 3 - P y E de la mayor de un velero. Fuente: propia.....</i>	<i>5</i>
<i>Ilustración 4 - Elementos para ajustar la vela mayor. Fuente: propia.....</i>	<i>5</i>
<i>Ilustración 5 - Medidas de las velas. Fuente: www.sailandtrip.com.....</i>	<i>6</i>
<i>Ilustración 6 - Génova J<LPG. Fuente: propia.....</i>	<i>7</i>
<i>Ilustración 7 - Foque J>LPG. Fuente: propia.....</i>	<i>7</i>
<i>Ilustración 8 - Elementos para ajustar el Génova. Fuente: propia.....</i>	<i>8</i>
<i>Ilustración 9 - Spi simétrico. Fuente: propia.....</i>	<i>9</i>
<i>Ilustración 10 - Gennaker. Fuente: propia.....</i>	<i>9</i>
<i>Ilustración 11 - Spi asimétrico. Fuente: propia.....</i>	<i>10</i>
<i>Ilustración 12 - Elementos del spi asimétrico y gennaker. Fuente: Oscar Torrades/ Trofeo Conde de Godo</i>	<i>11</i>
<i>Ilustración 13 - Elementos para ajustar el spi simétrico. Fuente: Oscar Torrades/ Trofeo Conde de Godo.....</i>	<i>11</i>
<i>Ilustración 14 - Elementos del tangón. Fuente: propia.....</i>	<i>12</i>
<i>Ilustración 15 - Perchas. Fuente: propia.....</i>	<i>13</i>
<i>Ilustración 16 - Jarcia firme y de labor. Fuente: propia.....</i>	<i>13</i>
<i>Ilustración 17 - Hardware. Fuente: propia.....</i>	<i>14</i>
<i>Ilustración 18 - Mayor con relinga de cabo. Fuente: propia.....</i>	<i>15</i>
<i>Ilustración 19 - Mayor con patines para carril. Fuente: propia.....</i>	<i>16</i>
<i>Ilustración 20 - Poleas pie de palo. Fuente: propia.....</i>	<i>17</i>
<i>Ilustración 21 - Bomba hidráulica suministrándole al mástil una tensión de 400 psi. Fuente: propia.....</i>	<i>17</i>
<i>Ilustración 22 - Puntal de compresión. Fuente: propia.....</i>	<i>18</i>
<i>Ilustración 23 - Tabla de sección de perfiles de mástil de aluminio Selden. Fuente: Selden.....</i>	<i>19</i>
<i>Ilustración 24 - Giratorio superior y puño de driza. Fuente: Selden.....</i>	<i>20</i>
<i>Ilustración 25 - Enrollador de mayor de tambor espiral. Fuente: propia.....</i>	<i>21</i>
<i>Ilustración 26 - Enrollador de mayor de cabo sin fin. Fuente: Selden.....</i>	<i>21</i>
<i>Ilustración 27 - Despiece de enrollador de mayor de cabo sin fin. Fuente: Selden.....</i>	<i>22</i>
<i>Ilustración 28 - Caja de engranajes de enrollador de mayor eléctrico y manivela de emergencia. Fuente: Selden.....</i>	<i>22</i>
<i>Ilustración 29 - Motor eléctrico de enrollador de mayor con sistema eléctrico. Fuente: Selden.....</i>	<i>23</i>
<i>Ilustración 30 - Enrollador de mayor con sistema hidráulico. Fuente: Selden.....</i>	<i>23</i>
<i>Ilustración 31 - Elementos que pueden ir en el tope de palo. Fuente: propia.....</i>	<i>24</i>
<i>Ilustración 32 - Unión del back estay con el tope de palo. Fuente: Selden.....</i>	<i>25</i>
<i>Ilustración 33 - Tope de palo de aparejo de tope de palo. Fuente: Selden.....</i>	<i>26</i>
<i>Ilustración 34 - Tope de palo de aparejo fraccionado.....</i>	<i>26</i>
<i>Ilustración 35 - Anclaje de cruceta que integra salida de obenques. Fuente: propia.....</i>	<i>27</i>
<i>Ilustración 36 - Anclaje de cruceta que no atraviesa el palo. Fuente: VMG Soromap.....</i>	<i>27</i>
<i>Ilustración 37 - Terminal de cruceta para jarcia continua. Fuente: Selden.....</i>	<i>28</i>
<i>Ilustración 38 - Arraigo de mástil para driza 2:1. Fuente: propia.....</i>	<i>29</i>
<i>Ilustración 39 - Maniobras de drizas en el palo. Fuente: propia.....</i>	<i>30</i>
<i>Ilustración 40 - Peldaño de mástil. Fuente: propia.....</i>	<i>30</i>
<i>Ilustración 41 - Pinzote de botavara estándar. Fuente: Selden.....</i>	<i>32</i>
<i>Ilustración 42 - Botavara con rizos automáticos. Fuente: Selden.....</i>	<i>32</i>

<i>Ilustración 43 - Pinzote de botavara de rizados automáticos. Fuente: Selden.</i>	32
<i>Ilustración 44 - Pinzote con rizados automáticos de botavara simple. Fuente: propia.</i>	33
<i>Ilustración 45 - Pinzote de botavara de mayor enrollable. Fuente: Selden.</i>	33
<i>Ilustración 46 - Contra rígida Selden, con vista interior apreciando el cilindro neumático. Fuente Selden.</i>	34
<i>Ilustración 47 - Contra de botavara. Fuente: propia.</i>	34
<i>Ilustración 48 - Escota de mayor 6:1 y 24:1. Fuente: Harken.</i>	35
<i>Ilustración 49 - Escota de mayor "alemana". Fuente: Harken.</i>	35
<i>Ilustración 50 - Escota de mayor sobre cabina. Fuente: Harken.</i>	36
<i>Ilustración 51 - Botavara de Carbono. Fuente: Oscar Torrades.</i>	36
<i>Ilustración 52 - Botavara enrollable. Fuente: North Sails</i>	37
<i>Ilustración 53 - Botavara enrollable. Fuente: Brenta 42 YouTube.</i>	38
<i>Ilustración 54 - Sistema de botavara enrollables manual y sistema de emergencia. Fuente: Furler boom.</i>	38
<i>Ilustración 55 - Mayor con dos rizados. Fuente: propia.</i>	39
<i>Ilustración 56 - Funda lazy jack para botavara aveneu. Fuente: propia</i>	40
<i>Ilustración 57 - Cabos que intervienen en el tangón. Fuente: Propia</i>	41
<i>Ilustración 58 - Tangón con cox fija. Fuente: Selden.</i>	41
<i>Ilustración 59 - Tangón pivotante, cox con carro. Fuente: propia.</i>	42
<i>Ilustración 60 - Botalón estructural. Fuente: Juanpanews.com</i>	42
<i>Ilustración 61 - Swan 42 con botalón retirado. Fuente: YachtWorld.com</i>	43
<i>Ilustración 62 - Swan 42 con botalón extendido. Fuente: Expo.</i>	43
<i>Ilustración 63 - Botalón Selden sobre cubierta. Fuente: propia.</i>	44
<i>Ilustración 64 - Mástil de aluminio. Fuente: propia.</i>	45
<i>Ilustración 65 - Mástiles de madera. Fuente: Propia.</i>	45
<i>Ilustración 66 - Mástil de carbono pintado de blanco. Fuente: propia.</i>	46
<i>Ilustración 67 - Obenques y obenquillos. Fuente: Propia.</i>	48
<i>Ilustración 68 - Burdas. Fuente: Propia.</i>	48
<i>Ilustración 69 - Baby estay. Fuente: propia.</i>	49
<i>Ilustración 70 - Estay de trinqueta. Fuente: propia.</i>	49
<i>Ilustración 71 - Prolongación de la salida del obenque a 13 grados aproximadamente. Fuente: propia.</i>	50
<i>Ilustración 72 - Crucetas retrasadas. Fuente: propia.</i>	51
<i>Ilustración 73 - Crucetas rectas. Fuente: propia.</i>	51
<i>Ilustración 74 - Orientación vertical correcta de las crucetas. Fuente: Berta Gómez.</i>	52
<i>Ilustración 75 - Obenques de jarcia continua. Fuente: propia.</i>	52
<i>Ilustración 76 - Obenque alto pasa por terminal de cruceta. Fuente: propia.</i>	53
<i>Ilustración 77 - Los tres obenques llegan a cubierta. Fuente: propia.</i>	53
<i>Ilustración 78 - Obenques de jarcia continua. Fuente: propia.</i>	54
<i>Ilustración 79 - Tensado el obenque D2 en la cruceta. Fuente: propia.</i>	54
<i>Ilustración 80 - Tensores típicos de cubierta. Fuente: propia.</i>	55
<i>Ilustración 81 - Jarcia lateral. Fuente: theriggingpoint.com</i>	55
<i>Ilustración 82 - Cadenotes de los obenques. Fuente: propia</i>	56
<i>Ilustración 83 - Cadenotes situados casi en la regala. Fuente: propia.</i>	57
<i>Ilustración 84 - Elementos de la sujeción longitudinal. Fuente: propia.</i>	57
<i>Ilustración 85 - Aparejos a tope de palo. Fuente: propia.</i>	58
<i>Ilustración 86 - Aparejo fraccionado. Fuente: propia.</i>	59
<i>Ilustración 87 - Varilla. Fuente: www.fondear.org</i>	60
<i>Ilustración 88 - Terminal de cruceta con jarcia de varilla. Fuente: propia.</i>	61
<i>Ilustración 89 - Cable mono cordón de 1X19. Fuente: www.apsltd.com</i>	61

<i>Ilustración 90 - Estay de proa de cable de Dyform. Fuente: propia.</i>	62
<i>Ilustración 91 - Dyform 1X19. Fuente: http://www.apsltd.com</i>	62
<i>Ilustración 92 - Cable flexible 7X7. Fuente: www.nauticexpo.es</i>	63
<i>Ilustración 93 - Obenque bajo de cable flexible. Fuente: propia.</i>	63
<i>Ilustración 94 - Cable flexible 7X7. Fuente: www.nauticexpo.es</i>	64
<i>Ilustración 95 - Cable flexible 19X7. Fuente: www.nauticexpo.es</i>	64
<i>Ilustración 96 - Cable textil de PBO. Fuente: www.nauticexpo.es</i>	65
<i>Ilustración 97 - Terminal prensado. Fuente: propia.</i>	67
<i>Ilustración 98 - Máquina Wiretechnik prensado un terminal de rosca. Fuente: propia.</i>	67
<i>Ilustración 99 - Máquina Wiretechnik prensando un terminal de T. Fuente: Wiretechnik, propia.</i>	68
<i>Ilustración 100 - Accesorio para terminal de ojo. Fuente: Wiretechnik, propia.</i>	68
<i>Ilustración 101 - Accesorio para terminal de horquilla y toggle. Fuente: Wiretechnik, propia.</i>	68
<i>Ilustración 102 - Accesorio para terminal de rosca y bola. Fuente: Wiretechnik, propia.</i>	68
<i>Ilustración 103 - Obenques con terminal mecánico. Fuente: propia.</i>	69
<i>Ilustración 104 - Diagrama de instalación del terminal mecánico. Fuente: Stalok.com.</i>	70
<i>Ilustración 105 - Instalando un terminal mecánico. Fuente: propia.</i>	70
<i>Ilustración 106 - Terminal de ojo para cable de varilla. Fuente: navtec.com.</i>	71
<i>Ilustración 107 - Obenques de cable de varilla con el terminal de rosca para tensor.</i>	71
<i>Ilustración 108 - Partes de un tensor. Fuente: propia.</i>	72
<i>Ilustración 109 - Tensor de cable Dyform diámetro 7 cm de un estay de proa. Fuente: propia.</i>	72
<i>Ilustración 110 - Tensor de un obenquillo proel. Fuente: propia.</i>	73
<i>Ilustración 111 - Terminal de rosca. Fuente: Blue Wave.</i>	74
<i>Ilustración 112 - Terminal de horquilla. Fuente: Blue Wave.</i>	75
<i>Ilustración 113 - Terminal de toggle. Fuente: Blue Wave.</i>	75
<i>Ilustración 114 - Terminal de ojo. Fuente: Blue Wave.</i>	76
<i>Ilustración 115 - Terminal de "t". Fuente: Blue Wave.</i>	76
<i>Ilustración 116 - Terminal de bola. Fuente: Blue Wave.</i>	77
<i>Ilustración 117 - Platina para terminal de t. Fuente: Blue Wave.</i>	77
<i>Ilustración 118 - Platina para terminal de "T" instalada. Fuente: propia.</i>	77
<i>Ilustración 119 - Terminal de "T" en el interior de la platina. Fuente: propia.</i>	78
<i>Ilustración 120 - Platina de campana. Fuente: Blue Wave.</i>	78
<i>Ilustración 121 - Obenque alto con terminal de bola en la platina de campana. Fuente: propia.</i>	78
<i>Ilustración 122 - Estay de proa con toggle. Fuente: propia.</i>	79
<i>Ilustración 123 - Toggle de dos movimientos. Fuente: Blue Wave.</i>	79
<i>Ilustración 124 - Toggle de un movimiento. Fuente: Selden.</i>	79
<i>Ilustración 125 - Bulón. Fuente: Selden.</i>	79
<i>Ilustración 126 - Pasadores de aleta. Fuente: Selden.</i>	80
<i>Ilustración 127 - Diagrama de tracción. Fuente: Wikipedia.</i>	84
<i>Ilustración 128 - Poliéster. Fuente: Marlow.</i>	85
<i>Ilustración 129 - Polipropileno. Fuente: Marlow.</i>	86
<i>Ilustración 130 - Dyneema. Fuente: Marlow.</i>	86
<i>Ilustración 131 - Vectran. Fuente: Marlow.</i>	87
<i>Ilustración 132 - PBO. Fuente: Marlow.</i>	87
<i>Ilustración 133 - Technora. Fuente: Marlow.</i>	88
<i>Ilustración 134 - Cabo retorcido de tres hilos. Fuente: Splicing modern ropes.</i>	92
<i>Ilustración 135 - Cabo retorcido de ocho hilos. Fuente: Splicing modern ropes.</i>	92

<i>Ilustración 136 - Cabo simple trenzado de 12 husos de Dyneema. Fuente: Splicing modern ropes.</i>	93
<i>Ilustración 137 - Cabo simple trenzado de poliéster. Fuente: Splicing modern ropes.</i>	93
<i>Ilustración 138 - Cabo de doble trenzado con alma y funda de poliéster. Fuente: Splicing modern ropes.</i>	94
<i>Ilustración 139 - Cabo de doble trenzado con alma de Dyneema y funda de poliéster. Fuente: Splicing modern ropes.</i>	94
<i>Ilustración 140 - Cabo de triple trenzado con funda exterior, funda interior y alma de poliéster. Fuente: Splicing modern ropes.</i>	94
<i>Ilustración 141 - Cabo con alma retorcida de 3 husos y funda trenzada. Fuente: Splicing modern ropes.</i>	95
<i>Ilustración 142 - Cabo con alma compuesta de fibras paralelas y funda trenzada. Fuente: Splicing modern ropes.</i>	95
<i>Ilustración 143 - Sistema de escota de mayor. Fuente: propia.</i>	100
<i>Ilustración 144 - Winche. Fuente: propia.</i>	100
<i>Ilustración 145 - Grillete. Fuente: propia.</i>	101
<i>Ilustración 146 - Grillete textil. Fuente: propia.</i>	101
<i>Ilustración 147 - Mosquetón. Fuente: propia.</i>	101
<i>Ilustración 148 - Stoppers de piano. Fuente: propia.</i>	102
<i>Ilustración 149 - Mordazas. Fuente: propia.</i>	102
<i>Ilustración 150 - Rings como guiador y como tensor. Fuente: propia.</i>	103
<i>Ilustración 151 - Ring como desmultiplicador. Fuente: propia.</i>	103
<i>Ilustración 152 - Escotero de fricción. Fuente: Antal.</i>	104
<i>Ilustración 153 - Escotero de bolas. Fuente: Antal.</i>	104
<i>Ilustración 154 - Carril de escotero de fricción longitudinal de Génova. Fuente: propia.</i>	105
<i>Ilustración 155 - Asimétrico con el cabo anti-torsión integrado a la vela. Fuente: Facnor.</i>	106
<i>Ilustración 156 - Tambor. Fuente: Facnor.</i>	106
<i>Ilustración 157 - Asimétrico con almacenador de grátil libre. Fuente Facnor.</i>	107
<i>Ilustración 158 - Tambor y giratorio de la parte de abajo. Fuente: Facnor.</i>	107
<i>Ilustración 159 - Belliure 40 con mayor y génova enrollable. Fuente: propia.</i>	113
<i>Ilustración 160 - Elementos del mástil del Belliure 40. Fuente: www.cosasdebarcos.com</i>	113
<i>Ilustración 161 - Obenques del Belliure 40. Fuente: www.cosasdebarcos.com</i>	114
<i>Ilustración 162 - Carro de escota de la mayor del Belliure 40. Fuente: www.cosasdebarcos.com</i>	114
<i>Ilustración 163 - Vista desde el mástil del X-1 ton. Fuente: X-Yachts.</i>	115
<i>Ilustración 164 - Elementos del X-1 ton. Fuente: www.yachtworld.com.</i>	116
<i>Ilustración 165 - Bañera del X-1 ton. Fuente: www.yachtworld.com</i>	116
<i>Ilustración 166 - Pie de mástil del X-1 ton. Fuente: www.yachtworld.com</i>	117
<i>Ilustración 167 - Plano vélico del Hanse 418. Fuente: Hanse</i>	118
<i>Ilustración 168 - Hanse 408 con foque autovirante. Fuente: Hanse.</i>	119
<i>Ilustración 169 - Sistema de cazado del back-estay del Hanse 408. Fuente: Hanse.</i>	119
<i>Ilustración 170 - Gennaker del Hanse 408. Fuente: Hanse</i>	120
<i>Ilustración 171 - Carro del foque autovirante. Fuente: Hanse.</i>	120
<i>Ilustración 172 - Render del X-41. Fuente: X-Yachts.</i>	121
<i>Ilustración 173 - Plano vélico del X-41. Fuente: www.cruiser-racer.com</i>	122
<i>Ilustración 174 - Cadenotes en regala del X-41. Fuente: www.cruiser-racer.com</i>	122
<i>Ilustración 175 - Bañera del X-41. Fuente: www.cruiser-racer.com</i>	123
<i>Ilustración 176 - Pie de mástil y carril de foque del X-41. Fuente: www.cruiser-racer.com</i>	124

Listado de Tablas

Tabla 1 - Esquema de los tipos de enrolladores de mayor. Fuente: propia.....	20
Tabla 2 - Sistemas de unión de la botavara. Fuente: propia.	31
Tabla 3 - Comparación de tipos de cable. Fuente: propia.....	66
Tabla 4 - Terminales en funcionamiento. Fuente: propia.....	74
Tabla 5 - Materiales, sus nombres comerciales y generación. Fuente: propia.....	82
Tabla 6 - Carga de rotura. Fuente: propia.	89
Tabla 7 - Estiramiento. Fuente: propia.	89
Tabla 8 - Grado de fusión. Fuente: propia.	90
Tabla 9 - Densidad. Fuente: propia.	90
Tabla 10 - Resistencia a los rayos UV. Fuente: propia.	91
Tabla 11 - Durabilidad. Fuente: propia.....	91
Tabla 12 - Diámetro de las drizas según la eslora del barco. Fuente: propia.....	97
Tabla 13 - Diámetro de las escotas según la eslora.	98
Tabla 14 - Elementos del hardware. Fuente: Propia.....	99
Tabla 15 - Clasificación de los tipos de regatas. Fuente: propia.....	111
Tabla 16 - Veleros seleccionados para la comparación. Fuente: propia.....	112
Tabla 17 - Características del Belliure 40. Fuente: propia.	112
Tabla 18 - Áreas del plano vélico del Belliure 40. Fuente: propia.	112
Tabla 19 - Características del X-1 ton. Fuente: propia.....	115
Tabla 20 - Áreas del plano vélico del X-1 ton. Fuente: propia.	115
Tabla 21 - Características del Hanse 418. Fuente: propia.....	117
Tabla 22 - Plano vélico del Hanse 418. Fuente: propia.....	118
Tabla 23 - Características del X-41. Fuente: propia.....	121
Tabla 24 - Plano vélico del X-41. Fuente: propia.....	121
Tabla 25 - Configuración de los barcos. Fuente: propia.	124
Tabla 26 - Configuración de los materiales de los barcos. Fuente: propia.....	125
Tabla 27 - Características del aparejo y plano vélico. Fuente: propia.	125
Tabla 28 - Comparación entre el Belliure 40 y el Hanse 418. Fuente: propia.....	126
Tabla 29 - Características del aparejo y plano vélico. Fuente: propia.	127
Tabla 30 - Comparación entre el X-1 ton y el X-41. Fuente: propia.....	128
Tabla 31 - Mejoras Belliure 40. Fuente: propia.....	128
Tabla 32 - Mejoras Hanse 418. Fuente: propia.	129
Tabla 33 - Mejoras X-1 ton. Fuente: propia.....	129
Tabla 34 - Mejoras X-41. Fuente: propia.....	129

Capítulo 1. Introducción

Los barcos duran muchos años y hay que ir manteniéndolos, actualizándolos y optimizándolos. Para estos tres objetivos es importante y recomendable conocer el funcionamiento de los elementos de cada barco. También es interesante saber cuáles eran los elementos que se utilizaban en el pasado para saber que recambios o piezas se pueden necesitar y para conocer la evolución de algunos de los elementos.

El objetivo del trabajo ha sido dar a conocer los elementos que acompañan a las velas, a los que no se les da tanta importancia como a ellas. Generalmente, se suele denominar jarcia al conjunto de estos elementos, aunque debería diferenciarse entre perchas, jarcia firme, jarcia de labor y *hardware*. Es decir, describir y definir los tipos y el funcionamiento de todos aquellos elementos que se encuentran por encima de cubierta en un solo documento.

Para ello, he dividido el trabajo en dos partes. En primer lugar, se describen en forma de guía cada uno de estos elementos. En segundo lugar, se realiza una comparación de 4 veleros para ver la evolución de la jarcia en los últimos 50 años y las diferencias existentes entre barcos con distintos programas de navegación.

El mercado y astilleros ofrecen variedad de modelos para distintos programas de navegación. La principal división se realiza diferenciando entre crucero y regata, aunque también existen barcos con un objetivo mixto.

El crucero es un barco destinado a la navegación por placer, tanto a motor como a vela, en el que se da prioridad a la habitabilidad, a la comodidad y al confort antes que a la *performance* de la vela, mientras que el barco de regata tiene como objetivo ser competitivo.

Para la comparación he seleccionado 4 veleros de 41 pies: dos veleros de los años 70-90, uno de crucero y otro de regata; y dos veleros actuales, uno de crucero y otro de regata. La eslora de 41 pies corresponde a 12 metros, una medida que durante mucho tiempo ha marcado un límite de eslora para aquellos armadores que tenían el título de Patrón de Embarcaciones de Recreo (PER), hoy en día este título ya permite gobernar embarcaciones hasta 15 metros de eslora.

De los años 70-90 he elegido un velero con un claro programa de navegación de crucero, el Belliure 40, que presenta una de las principales características de un modelo de la época: el aparejo a tope de palo. Como barco de regata de la época he elegido el X-1 ton, que llegó a ganar la One Ton Cup en 1988.

De los veleros que se encuentran hoy en día en el mercado, he seleccionado el Hanse 418, como un barco de referencia actual en el mercado de crucero por sus avances y su simplicidad de maniobra. Como barco de regata he escogido el X-41, un barco que corre tanto en *one design*, en tiempo real, como en flota, en tiempo compensado.

Este trabajo empezó a gestarse trabajando en la velería Tack Velas. Decidí que quería profundizar en el conocimiento de aquellos elementos con los que trabajo día a día en el departamento de *rigging*.

Cuando se analiza nuestro trabajo, parece que todo es muy práctico y hasta puede parecer subjetivo, cuando en realidad, está basado en razones técnicas, a pesar de que, en muchas ocasiones, falta la documentación que lo justifique. Por falta de conocimiento se tiende a sobredimensionar y con este trabajo se pretende facilitar información para poder dimensionar de manera adecuada.

Otra de mis motivaciones ha sido poder aprender técnicamente sobre elementos con los que trabajo día a día y plasmar en un solo documento una recopilación de información a la que no es fácil acceder, ya sea porque la bibliografía existente está escrita en otros idiomas, o suele estar dispersa en diferentes libros, o porque en muchas ocasiones no está actualizada.

Las principales fuentes utilizadas para la realización del trabajo han sido diferentes catálogos de elementos de distintas marcas, webs de distintas compañías de *rigging* americanas, así como libros y documentación relacionados con el tema, detallados en la bibliografía.

Capítulo 2. Elementos de un velero

2.1 Fundamentos de la navegación a vela

Al navegar es importante saber de dónde viene el viento. Las velas deben ir lo más abiertas posibles para aprovechar al máximo el viento. La mejor manera de trimar una vela es ir abriéndola hasta que flamee, y entonces cazarla un poco. De esta manera las velas irán en el punto óptimo de trimaje.

Contra el viento no se puede navegar. El rumbo más directo hacia el viento es la ceñida, donde el ángulo con respecto al viento es de unos 30° y el viento se recibe por la amura. En este rumbo es en el que las velas irán más cazadas.

Como se puede ver en la ilustración 1, navegar a un descuartelar es un rumbo entre la ceñida y el través. El ángulo aproximado respecto al viento es de 60° . Cuando se navega formando un ángulo de 90° con el viento, el viento se recibe por el través del barco, que da nombre al propio rumbo. Cuando el viento se recibe por la aleta, con un ángulo de 120° el rumbo es un largo. Navegando de popa o empopada se recibe el viento por la popa. Si el viento entra formando exactamente 180° recibe el nombre de popa cerrada.

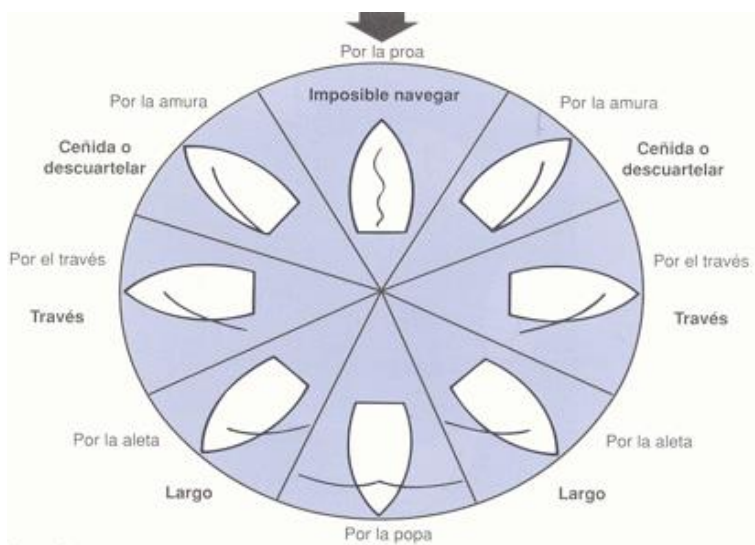


Ilustración 1 - Rumbos a vela. Fuente: [Web velasyviento.com](http://Webvelasyviento.com)

A medida que se va arribando se van largando o soltando las escotas y al orzar se van cazando.

2.2 Velas

2.2.1 Mayor

La mayor es la vela que va relingada al palo por el grátil y unida a la botavara por el pujamen. Sus funciones son:

- La propulsión del velero. Sea directamente, por su propia fuerza vélica; o indirectamente, por su interacción con la vela de proa.
- El equilibrio de la escora. Se regula la escora del velero abriendo o cazando la vela.
- El equilibrio del rumbo. Se trata de una función esencial, ya que actúa como un timón aéreo. Por ejemplo, navegando a un largo, al cazar la mayor el barco tenderá a orzar.



Ilustración 2 - Vela mayor. Fuente: propia.

Las principales medidas de la vela mayor son:

- P: distancia desde la parte superior de la botavara hasta la parte más alta donde la mayor puede ser izada.
- E: distancia que va desde la parte posterior del palo de la mayor hasta el punto más a popa de la botavara que podamos llevar el pujamen de la mayor.
- I: distancia desde el tope de palo hasta el nivel de la cubierta.



Ilustración 3 - P y E de la mayor de un velero. Fuente: propia.

En la ilustración 4 se muestra los elementos para ajustarla son:

- Escota de mayor
- Carro de mayor
- Contra
- Pajarín
- Back estay
- Driza de mayor



Ilustración 4 - Elementos para ajustar la vela mayor. Fuente: propia.

La escota de la mayor interactúa con el carro para controlar el ángulo de la botavara respecto a la crujía del barco y el twist de la vela. Con viento de popa, la abertura de la baluma se controla mediante la contra, que permite regular el ángulo vertical de la botavara.

El pajarín controla la profundidad de la parte baja de la vela mayor. Al cazarlo la profundidad de la mayor se reduce. El back estay flexiona el tope del mástil, que al estirarse aplana la parte alta y media de la vela. La driza permite izar, mantener la posición y arriar la mayor. Su tensión también repercute en la posición de la bolsa de la vela.

2.2.2 Génova y foque

El génova y el foque son velas de proa que se izan sobre el estay. Su tamaño se mide en grados de superposición, es decir el solapamiento de la vela de proa respecto al mástil. Cuando su tamaño sobrepasa el mástil se denominan génovas y cuando no lo hacen y quedan por delante se les llama foques.

Los valores típicos de solapamiento son los siguientes:

- 150% para un Génova 1
- 130% para un Génova 2
- 100% para un Génova 3 o Foque

Las principales medidas de las velas de proa son:

- J: distancia horizontal formada por la base del estay de proa y el mástil de la mayor.
- LP: distancia que hay entre la perpendicular del grátil y el puño de escota.

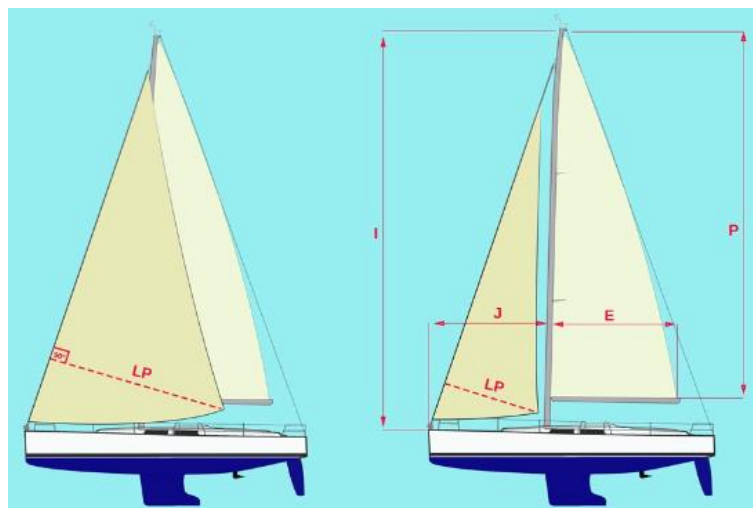


Ilustración 5 - Medidas de las velas. Fuente: www.sailandtrip.com

Como se puede ver en la ilustración 5, el LP de un génova siempre será mayor que el LP de un foque. El tamaño de las velas se mide por la relación existente entre las medidas “J” y “LP”:

$$\frac{LP}{J} = \% \text{ de vela que sobrepasa el palo}$$

Por ejemplo, si una vela tiene un “LP” de 7,5 metros y la medida “J” de 5 metros, será un génova de 150% de solapamiento.

$$\frac{7,5}{5} = 1,5 = 150\%$$



Ilustración 6 - Génova J < LPG. Fuente: propia.

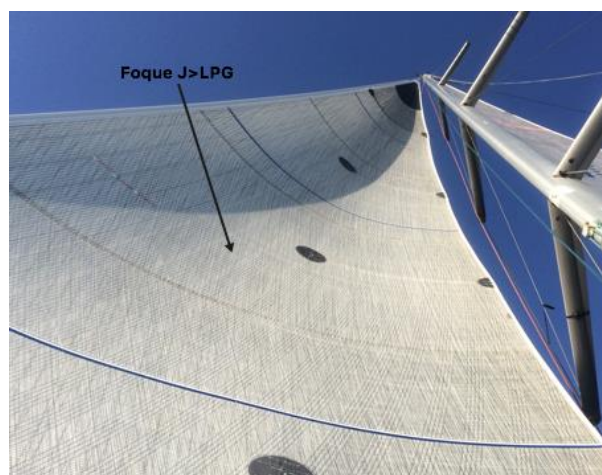


Ilustración 7 - Foque J > LPG. Fuente: propia.

La vela de proa se encuentra ubicada en una situación de privilegio en los rumbos de ceñida:

- Recibe generalmente el viento limpio y despejado.
- Su fuerza velica se beneficia de la presencia de la mayor.

Los elementos que se utilizan para ajustar las velas de proa son:

- Escotas de génova

- Carro de génova
- Estay de proa
- Driza



Ilustración 8 - Elementos para ajustar el Génova. Fuente: propia.

El génova cuenta con dos escotas, una por cada costado, ambas unidas al puño de escota de la vela. Su función es regular el ángulo que forma la vela con la crujía del barco. Sin embargo, la salida de aire de la vela depende también de la posición del carro de génova, también llamado escotero. Se trata de un carril sobre el cual discurre un escotero que se puede fijar en varias posiciones. Tirando el carro hacia proa, se embolsa la vela y tirándolo hacia popa, se aplanan.

La tensión del estay de proa influye en la forma del génova y suele ajustarse mediante la tensión del back estay. La driza permite izar, mantener la posición y arriar las velas. La tensión de esta también repercute en la posición de la bolsa de la vela.

2.2.3 Velas para vientos portantes

Las velas para vientos portantes se clasifican en función del ángulo por el cual entra el viento al velero:

- Gennaker hasta 80° de viento.
- Spi asimétrico para viento de través de 80 a 120°.
- Spi simétrico con viento de popa de 100 a 160°.



Ilustración 9 - Spi simétrico. Fuente: propia.

No hay que confundir un gennaker con un spi asimétrico. El gennaker es una vela que está entre el asimétrico y el génova. Las dos velas están confeccionadas con tejidos ligeros, pero mientras el gennaker es parecido al génova, el spinnaker asimétrico de crucero, es más bien un spi estudiado para utilizar sin tangón.

El gennaker es como un génova ligero, pero para rumbos abiertos. Lo que caracteriza esta vela es que su forma es totalmente triangular, el tejido es de nylon y el puño de escota es alto. El grátil lleva un cabo de Kevlar o Spectra que trabaja bajo tensión. No está relingada al estay como el génova.



Ilustración 10 - Gennaker. Fuente: propia.

El spi asimétrico de crucero es como un spi pero para usarlo sin tangón, facilita la maniobra. Es una vela para vientos portantes.



Ilustración 11 - Spi asimétrico. Fuente: propia.

Hay tres diferencias básicas entre asimétrico y gennaker:

- El tamaño del asimétrico es claramente superior.
- El grátil del asimétrico no trabaja bajo tensión.
- Toda su maniobra (driza, escota y braza) es exterior al estay.

El gennaker y el spi asimétrico normalmente van con botalón.

Los elementos que se utilizan para ajustar el spi asimétrico o gennaker son:

- Escota de amura
- Escotas de spi asimétrico o gennaker
- Driza



Ilustración 12 - Elementos del spi asimétrico y gennaker. Fuente: Oscar Torrades/ Trofeo Conde de Godo

El spi simétrico es como un globo y va con tangón, que es como una botavara, pero más estrecho y va del palo hasta un poco más adelante del estay.

Los elementos que se utilizan para ajustar el spi simétrico son:

- Escotas de spi
- Braza
- Contra de tangón
- Amantillo
- Driza



Ilustración 13 - Elementos para ajustar el spi simétrico. Fuente: Oscar Torrades/ Trofeo Conde de Godo.

La maniobra es bastante compleja ya que hay que tener en cuenta muchos elementos. El tangón va fijado al palo, la punta va con una driza llamada amantillo y una contra para evitar que la punta del tangón vaya hacia arriba.



Ilustración 14 - Elementos del tangón. Fuente: propia.

2.3 Perchas

Las perchas son el conjunto de palos rígidos que hay en un barco, tanto verticales como horizontales, que sirven para sujetar y orientar las velas.

El mástil es el palo principal vertical firme la función del cual es sujetar la vela mayor. En el caso que el velero disponga de más de un palo, el mástil principal recibe el nombre de palo mayor y el mástil secundario, de menor tamaño y situado más a popa, palo de mesana.

Sujetada al mástil y de forma horizontal se encuentra la botavara que regula la abertura respecto al mástil de la vela mayor.

El mástil está sujeto al barco por un anclaje en su parte inferior y por distintos elementos sujetos a distintas alturas del mismo. Longitudinalmente, dispone del estay de proa, en el cuál, además, se aparejan las velas de proa como el génova o el foque. Por popa, el back estay, que también permite darle curvatura al mástil. Transversalmente dispone de obenques, separados del palo mediante crucetas, el objetivo de las cuales es que el ángulo formado entre ambos sea lo suficientemente amplio como para ser efectivo.



Ilustración 15 - Perchas. Fuente: propia.

La contra es un brazo ubicado en el ángulo que forma la botavara con el mástil que permite ajustar la desviación entre estos afectando a la apertura de la baluma de la vela.

2.4 Jarcia

Hay dos tipos de jarcia: la firme y la de labor. La jarcia firme comprende los cables que sujetan el palo: estays y obenques, sus sistemas de fijación y de reglaje, así como los herrajes de las crucetas. La jarcia de labor abarca todo aquello que permite maniobrar las velas, colocarlas y orientarlas, modificar su forma y su superficie. Son las drizas, escotas, brazas, etc.

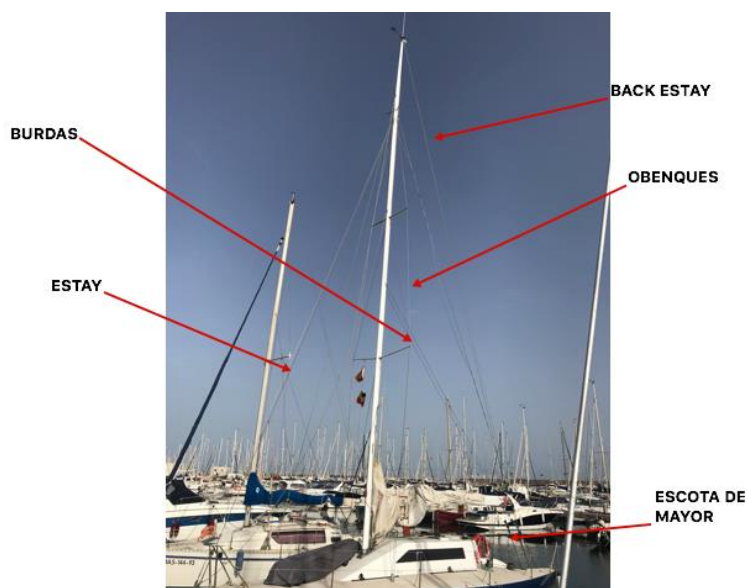


Ilustración 16 - Jarcia firme y de labor. Fuente: propia.

2.5 Hardware

Son los elementos que forman parte del barco con la función principal de reducir esfuerzos y facilitar el ajuste de las velas. Son, por ejemplo, las poleas, grilletes o winches, así como otro tipo de elementos como son los sistemas de almacenado, que se describen de forma detallada en el capítulo 6.



Ilustración 17 - Hardware. Fuente: propia.

Capítulo 3. Perchas

Las perchas son el conjunto de palos rígidos que hay en un barco, tanto verticales como horizontales, que sirven para sujetar y orientar las velas.

3.1 Mástil

La principal función del mástil es sostener la vela mayor por el grátil. En el palo mayor también irán unidos el estay de proa, la botavara y el tangón.

Un mástil tiene distintas características: resistencia, solidez, ligereza y una forma aerodinámica. Otra de las características que debe tener un mástil es la rigidez, característica que evita que se pueda distorsionar la forma de la vela.

Dependiendo del programa de navegación se incidirá en las características necesarias. Por ejemplo, un barco que tenga el objetivo de cruzar el atlántico deberá tener un palo muy resistente y dejar de lado la ligereza. Otro caso sería el de un barco de regatas *inshore*, que necesitará un mástil ligero, resistente y muy aerodinámico.

Hay dos sistemas para izar la vela al mástil y, por tanto, sostenerla:

- Perfil para relingas de cabo
- Sistema de carril exterior al mástil para izar la vela con patines.

El izado por relinga es el sistema tradicional en el cual el rail se utiliza para izar el grátil de la vela mayor con un cabo en el interior del borde de la vela. En la actualidad, también se utiliza el perfil de la relinga para izar la vela con patines en forma de “T” para este tipo de perfiles.

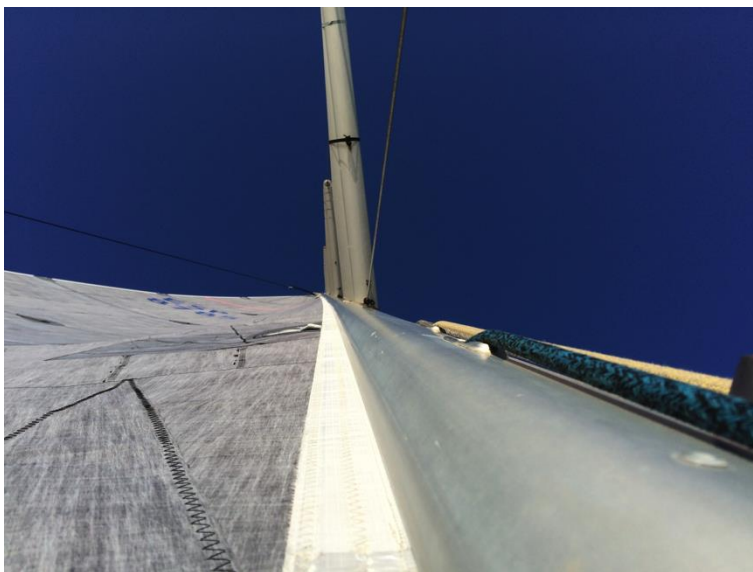


Ilustración 18 - Mayor con relinga de cabo. Fuente: propia.

Como se observa en la ilustración 19, el izado por carril exterior para patines es el sistema que tiene un carril unido al palo mediante tonillos y tuercas llamadas *slugs* que se colocan en el interior del

perfil simple del palo, evitando agujerear el mástil. Por el carril exterior se introducen los patines que pueden ser de bolas o de fricción. Este último sistema es recomendable para barcos de grandes esloras, ya que se reduce la fricción por lo que se necesita menos fuerza para izar la vela.



Ilustración 19 - Mayor con patines para carril. Fuente: propia.

3.1.1 Sistemas de unión

El palo se puede unir al casco de dos maneras distintas: atravesando la cubierta apoyado sobre la quilla o apoyado sobre cubierta. La base del palo también recibe el nombre de coz. Además de la sujeción de la base, el mástil está sujetado mediante cables: obenques y estays, que se describen en el capítulo de jarcia firme.

Mástil pasante:

Tradicionalmente el palo atraviesa la cubierta por el agujero denominado fogonadura, hasta apoyarse sobre una pieza destinada a tal efecto llamada carlinga. La carlinga puede ser de dos tipos, base simple o base graduable. Esta última permite variar el punto de descanso de la base del palo, produciendo una caída más o menos pronunciada del palo hacia popa, hacia proa o que trabaje completamente vertical.

La carlinga tiene forma de “u”, en los laterales tiene diversos agujeros que permiten las distintas posiciones del palo mediante un pasador que atraviesa la pared de la base y la del mástil, fijándolo.

Las poleas de las drizas y la maniobra de la botavara están dispuestas en cubierta en la zona de la fogonadura y de allí son reenviadas al piano situado en la bañera.



Ilustración 20 - Poleas pie de palo. Fuente: propia.

Para asegurar la estanqueidad de la fagonadura se utilizan distintas soluciones como juntas de goma exteriores o interiores.

Cuando el mástil pasante es de carbono, al tratarse de un material más rígido, cuesta más darle tensión. Por lo que la base del mástil cuenta con un sistema hidráulico que permite dar la tensión requerida al mástil y a la jarcia. El sistema consiste en un cilindro hidráulico situado en el interior del mástil. El pistón del cilindro se desplaza hacia abajo, verticalmente, a través de la coz, hasta una placa de acero en la base y de esta forma, eleva el mástil para incrementar la tensión. Cuando el mástil llega a una posición más elevada, se colocan cuñas entre la coz y la base. En ese momento, se descarga la presión y se retira la bomba hidráulica y la jarcia queda entonces ajustada a la tensión buscada.



Ilustración 21 - Bomba hidráulica suministrándole al mástil una tensión de 400 psi. Fuente: propia.

Mástil apoyado:

En los aparejos que descansan sobre cubierta es necesaria la colocación de un puntal o un vástago de compresión en el interior del barco. En este tipo de mástiles, todos los elementos como las poleas de las drizas, la maniobra de la botavara, o los rizos están situados en la misma base.



Ilustración 22 - Puntal de compresión. Fuente: propia.

3.1.2 Sección del mástil

Según el sistema de izado de la vela hay dos tipos de mástiles, los simples y los enrollables, que también se distinguen por el tipo de sección. Los mástiles enrollables son aquellos que la vela mayor se enrolla longitudinalmente en el interior de la sección del mástil.

Hay distintos tipos de sección según el material, aluminio o carbono (como se verá en el apartado 3.5) y según el sistema de izado de la vela.

Los fabricantes de mástiles construyen secciones similares. La referencia del mástil también varía según el fabricante, algunos el número indica el diámetro mayor, otros el momento de inercia transversal, I_x .

Los datos de mayor importancia cuando se elige un mástil y su sección son:

- Tipo de material aleación
- Cotas
- Espesor del perfil
- Inercia transversal
- Inercia longitudinal
- Peso por metro

La inercia transversal y longitudinal indica si el perfil es más flexible o más rígido en cada plano y el peso por metro representa el parámetro de la resistencia del palo.

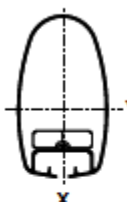

		Sección de mástil	Sección dimensiones mm	I_y cm ⁴	I_x cm ⁴	Espesor de pared mm	Peso kg/m	W_y cm ³	W_x cm ³
Secciones-C 		C156	156/87	391	144	3,00	3,71	42,8	33,2
		C175	175/93	558	191	3,24	4,18	53,6	41,0
		C193	193/102	779	257	3,40	4,74	69,3	50,6
		C211	211/110	1051	341	3,65	5,34	86,5	62,0
		C227	227/119	1407	456	3,95	6,15	108,0	76,6
		C245	245/127	1910	614	4,35	7,15	137,0	96,5
		C264	264/136	2591	830	4,80	8,40	172,0	122,0
		C285	285/147	3508	1127	5,20	9,72	214,0	153,3
		C304	304/157	4686	1524	5,80	11,44	272,0	194,0
		C321	321/171	5822	2056	5,5/6,4	13,06	324,4	238,7
		C365	365/194	9160	3161	5,5/6,8	15,50	447,0	326,3
Secciones-F 	RA	F176	176/93	526	187	2,89	4,20	58,2	40,0
		F194	194/101	709	254	3,04	4,79	70,8	49,8
	RA/RB	F212	212/109	970	337	3,15	5,49	88,2	61,8
	RA/RB	F228	228/118	1306	453	3,40	6,35	112,0	76,8
	RB	F246	246/126	1781	613	3,75	7,44	139,0	97,3
	RB/RC	F265	265/135	2392	828	4,15	8,73	173,0	122,0
	RB/RC	F286	286/146	3237	1122	4,50	10,10	220,0	154,0
	RC/RD	F305	305/156	4389	1513	5,05	11,84	276,0	194,0
	RC/RD	F324	324/169	5576	2056	5,5/7,0	13,80	328,8	243,3
	RD	F370	370/192	8835	3149	5,8/9,0	16,60	468,0	326,0
	RD	F406	408/207	14321	4725	6,5/10,0	21,20	671,0	451,0

Ilustración 23 - Tabla de sección de perfiles de mástil de aluminio Selden. Fuente: Selden.

3.1.3 Enrollador

El enrollador está compuesto por un perfil, un tambor o sistema que hace girar el perfil, ubicado en la parte inferior, y un giratorio al cual va unido el puño de driza de la vela mayor.

El puño de driza se desplaza a lo largo del perfil cuando la vela se iza, ya que por la parte superior del giratorio está unida a la driza de mayor. El giratorio está compuesto por dos rodamientos y por una pieza que sobresale de la sección del palo en forma de ala que evita que la driza no se lie en el perfil y gire la parte inferior del giratorio consiguiendo que la vela se enrolle.



Ilustración 24 - Giratorio superior y puño de driza. Fuente: Selden.

El accionamiento del enrollador puede ser manual, eléctrico o hidráulico. En el sistema manual se distinguen dos tipos de tambores.

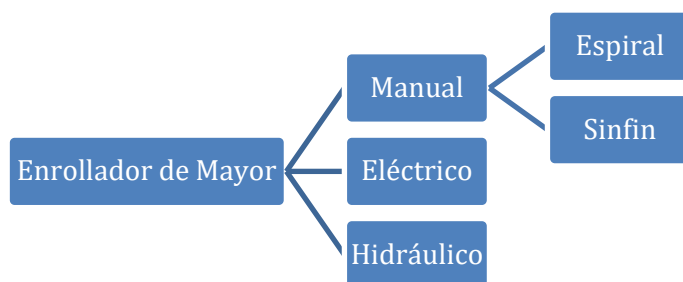


Tabla 1 - Esquema de los tipos de enrolladores de mayor. Fuente: propia.

El tambor tradicional tiene forma de espiral y permite que un cabo se enrolle de manera ordenada sobre el tambor. Para desenrollar la vela hay que tirar del puño de escota cazando el pajarín y para enrollar la vela hay que cazar del cabo del enrollador y soltar el pajarín.



Ilustración 25 - Enrollador de mayor de tambor espiral. Fuente: propia.

El segundo sistema utiliza un cabo sin fin que pasa por un winche, el cabo solo hace girar el winche en un solo sentido, es cuando enrolla la vela. Para desenrollar la vela se caza del pajarín y se suelta el cabo sin fin. El winche transmite su movimiento rotatorio al perfil con otro sistema de ruedas dentadas.



Ilustración 26 - Enrollador de mayor de cabo sin fin. Fuente: Selden.

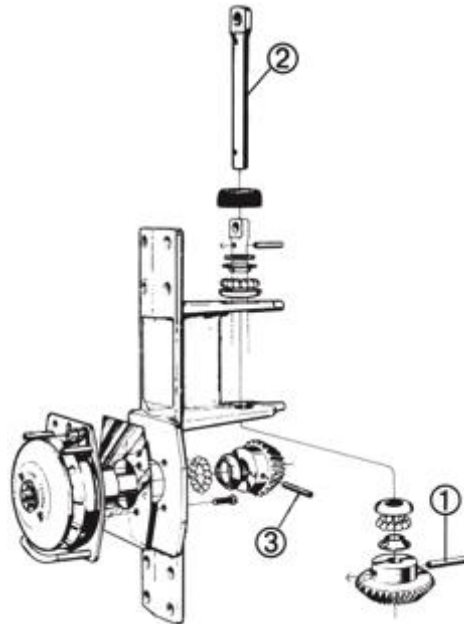


Ilustración 27 - Despiece de enrollador de mayor de cabo sin fin. Fuente: Selden.

En el sistema eléctrico la caja de engranajes, donde se encuentran las ruedas dentadas comentadas anteriormente, va conectada a un motor eléctrico. Dependiendo la largada del pujamen de la vela el motor eléctrico tendrá distinto voltaje y distinto par máximo en Nm. El motor trabajara en 12 V proporcionando un par máximo de 150 Nm entre 4900 mm y 60000 mm de pujamen. Los barcos que tengan velas con un pujamen comprendido entre 5800 mm y 7000 mm se recomienda motores de 24 V con un par máximo de 230 Nm.



Ilustración 28 - Caja de engranajes de enrollador de mayor eléctrico y manivela de emergencia. Fuente: Selden.



Ilustración 29 - Motor eléctrico de enrollador de mayor con sistema eléctrico. Fuente: Selden.

El sistema de enrollador hidráulico, se compone por dos bombas con sus respectivas válvulas y batería para cada bomba. Una bomba es la del pajarín, esta bomba trabaja cuando se quiera abrir la vela. La otra bomba será para el enrollador, esta se accionará cuando se quiera enrollar la vela.



Ilustración 30 - Enrollador de mayor con sistema hidráulico. Fuente: Selden.

Normalmente los sistemas de enrollador eléctrico e hidráulico incorporan un engranaje de emergencia, para el accionamiento manual.

3.1.4 Equipamiento

Como equipamiento se agrupan todos aquellos elementos que son necesarios para que el mástil pueda funcionar correctamente.

Tope de palo

El tope de palo es el elemento que está situado en la parte más alta del palo. En él se encuentran ubicadas las roldanas de driza, el sistema de unión del estay y back estay. En el tope de palo también van colladas las luces de navegación, la antena de radio VHF, el *windex*, el equipo de viento o el separador de back estay. El remate del tope del palo recibe el nombre de perilla.

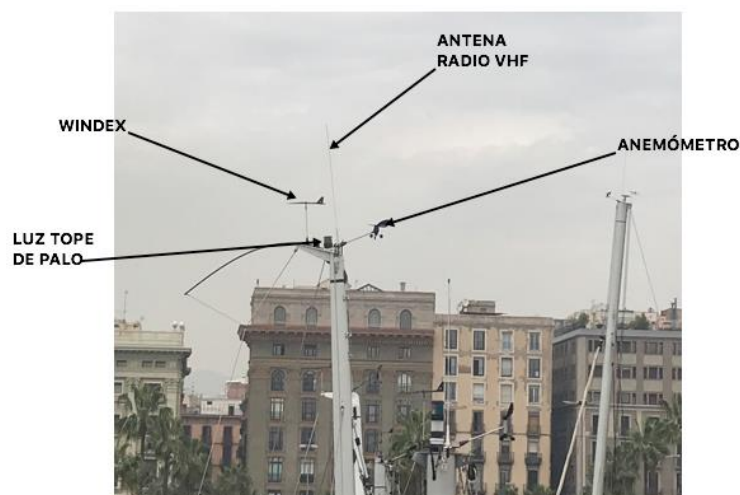


Ilustración 31 - Elementos que pueden ir en el tope de palo. Fuente: propia.

Tal como se muestra en la ilustración 31, la función del tope de palo es almacenar todos los elementos mencionados anteriormente, con la característica de que sea suficientemente fuerte para soportar la tensión de los estays y de las drizas. Otra característica muy importante es que debe permitir el acceso a todos los elementos para poder facilitar el mantenimiento, así como añadir o cambiar elementos.

En función del material del mástil varía tanto la forma como el material del tope de palo. En mástiles de aluminio el tope de palo es de aluminio, en palos de madera suele ser de acero inoxidable y en palos de carbono también es de carbono.

Las roldanas son ruedas acanaladas por donde corren los cabos. En el caso de las roldanas situadas en el tope de palo tiene la función de encaminar las drizas. Están dispuestas para rodar en dirección proa-popa o popa-proa. Están unidas al tope de palo por un bulón, pieza de metal cilíndrica similar al tornillo con la cabeza generalmente redondeada, que se fija a una tuerca o se fija con un pasador que pasa por un agujero situado en su extremo después de atravesar las piezas que une. En el caso de la unión de las roldanas al mástil se utiliza un bulón con pasador. Cuando se colocan roldanas en paralelo se coloca una placa entre ellas para evitar el giro de una influya en las demás. Las roldanas pueden ser de nilón, composite de fibra de vidrio con poliamida, acero inoxidable o cobre. Hoy en día, las que más se utilizan son las de nilón y las de composite.

Otro de los elementos ubicados en extremos de popa y de proa del tope de palo son las uniones de los cables que ayudan a la sujeción del mástil: el estay y el back estay. Generalmente están unidos por un terminal en ojo a una horquilla unida por bulones al tope de palo.



Ilustración 32 - Unión del back estay con el tope de palo. Fuente: Selden.

En la parte más alta del palo también pueden ir colocados la luz de fondeo, la antena de radio VHF, el windex y/o el anemómetro de viento de la electrónica. Los cables que conectan los elementos electrónicos pasan por el interior del palo, normalmente por conductos de cables para evitar el roce entre las drizas y los propios cables eléctricos.

En función del tipo de aparejo del palo, si es fraccionado o a tope de palo la perilla será distinta. Las perillas para mástiles con aparejo a tope de palo se caracterizan por sobresalir por proa y por popa. En estas estructuras salientes es donde van arraigados el estay, por proa, y el back estay, por popa. Generalmente, en este tipo de aparejo en el tope de palo hay cuatro roldanas. Las dos roldanas de popa encaminan la driza de la mayor y el amantillo de la mayor. Las dos de proa encaminan la driza de génova y una segunda driza de spi o de respeto.

En este tipo de aparejos hay que tener en cuenta que la driza de spi debe ir por el exterior del estay. Existen varios sistemas según el fabricante del palo, pero se pueden dividir en dos sistemas: aquellos en los que la driza del spi cruza por el interior del tope de palo o aquellos que la driza va por el exterior. Cuando va por el interior, la driza viene por el interior del palo, pasa por la roldana y atraviesa el tope de palo y en la perilla hay un herraje, situado lo más a proa posible, que está provisto de un guía-driza de manera que guía la driza saliendo por encima del estay. Cuando la driza va directamente por el exterior, en la perilla hay un cáncamo en el que va situado una polea por la cual corre la driza del spi. En este caso la driza que va por el palo puede ir o totalmente por el exterior o puede venir del interior y salir del palo a una altura inferior a la del tope de palo.



Ilustración 33 - Tope de palo de aparejo de tope de palo. Fuente: Selden.

En los aparejos fraccionados el estay está unido al mástil en una zona por debajo del tope de palo, por lo que la perilla solo sobresale de la sección del mástil por la parte de popa. En este tipo de aparejo, el tope de palo contiene el arraigo de back estay, dos roldanas para la driza y el amantillo de mayor y una o dos roldanas por la parte delantera que pueden servir para la driza de spi y una de respeto.



Ilustración 34 - Tope de palo de aparejo fraccionado.

Crucetas

Las crucetas son piezas que se colocan horizontalmente a babor y estribor del mástil a cierta altura y su función es dar mayor resistencia al palo, oponiéndose a su flexión y transmitiendo el esfuerzo a los obenques.

Hay dos tipos de anclajes de crucetas, los que atraviesan el mástil o los que no lo atraviesan. El anclaje de la cruceta que atraviesa la sección del mástil es un diseño que aporta resistencia y, generalmente, integra los obenques en el propio anclaje.

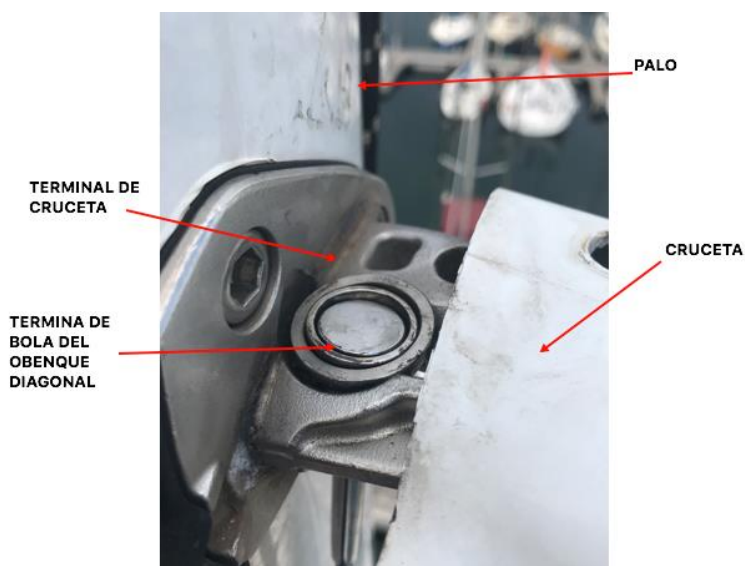


Ilustración 35 - Anclaje de cruceta que integra salida de obenques. Fuente: propia.

El anclaje de cruceta que no atraviesa el palo se colla directamente al palo en las zonas reforzadas, preparadas para recibir las crucetas. Los obenques se conectan al mástil justo por debajo de la cruceta.



Ilustración 36 - Anclaje de cruceta que no atraviesa el palo. Fuente: VMG Soromap.

Los terminales de cruceta tienen la función de conectar las propias crucetas con la jarcia. El diseño de los terminales de cruceta varía según el tipo de aparejo, el número de crucetas y si la jarcia lateral es continua o discontinua.

La jarcia continua es aquella en la que los obenques van desde la cubierta hasta la parte superior del palo sin interrupción. En este tipo de jarcia el terminal de cruceta es una pieza con dos agujeros dispuestos longitudinalmente, por donde pasaran los cables y con una parte que entra al interior de

la cruceta y va fijada por un tornillo que atraviesa la cruceta. El cable de los obenques altos estará dispuesto a proa y el diagonal a popa. Generalmente, el material de los terminales de jarcia continua es poliamida.

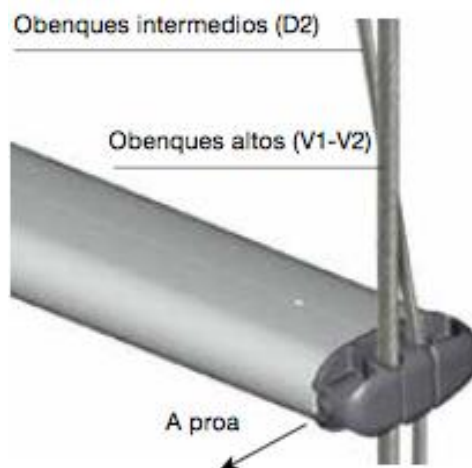


Ilustración 37 - Terminal de cruceta para jarcia continua. Fuente: Selden.

La jarcia discontinua es aquella en la que los obenques están divididos por tramos entre las crucetas. Por lo que en cada terminal de cruceta llega un vertical y un diagonal, saliendo un vertical hacia abajo.

Para este tipo de jarcia se pueden utilizar tres tipos de terminales de cruceta: abiertos, mixtos o cerrados.

- El terminal de cruceta abierto tiene forma de “u” y los cables que llegan al terminal se fijan mediante un único bulón ya que los cables tienen terminal de ojo.
- En los terminales mixtos, los obenques verticales se unen igual que en los abiertos, la diferencia es que el obenque diagonal tiene bola más rosca, ya que este cable tendrá botella para poder ajustar la tensión.
- El terminal de cruceta cerrado se caracteriza por ser macizo y que cada obenque tenga un agujero de destino. El vertical que llega a la cruceta tiene bola, y el saliente también, el diagonal tiene bola con rosca. Cuando la jarcia es de varilla se utiliza el terminal de cruceta cerrado.

Accesorios

Otros elementos que forman parte del equipamiento del mástil son las pequeñas piezas que ayudan al funcionamiento de los elementos que interactúan con el mástil y que su ubicación depende de la disposición del aparejo y la jarcia del velero.

Los arraigos se utilizan para fijar cabos al mástil. Algunas de sus funciones concretas son: el fijado del cabo del sistema del carro del tangón o en el caso de código cero para desmultiplicar la driza en 2 a 1.

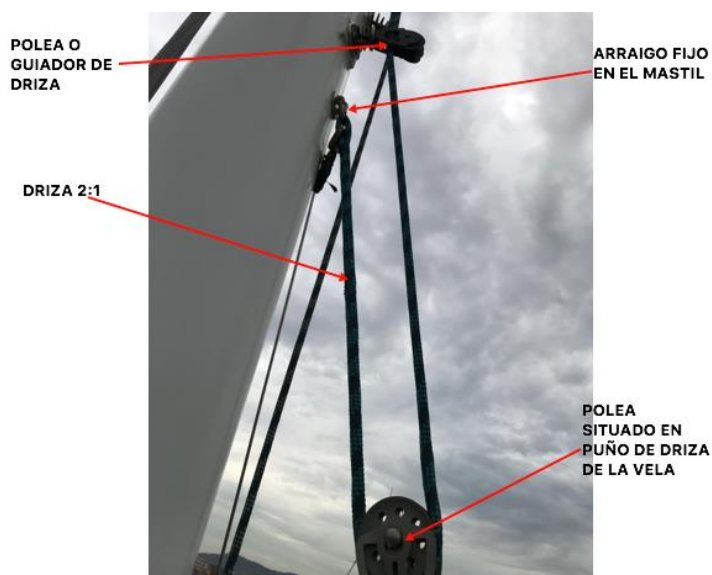


Ilustración 38 - Arraigo de mástil para driza 2:1. Fuente: propia.

Los guidores se utilizan para guiar las drizas o cambiar el punto de salida. En función del elemento que guían también reciben nombres como guía-driza. En el caso de los enrolladores de génova, si el génova es corto de grátil, la driza se puede enrollar sobre el perfil del enrollador. Para evitar que esto suceda, se coloca un guía-driza para que la driza salga hacia el giratorio a 45° respecto el mástil.

Para las salidas de driza se utiliza una pletina que va collada al palo y que tiene como función reducir la fricción y evitar el desgaste de las drizas con el perfil del mástil. Las mordazas son herrajes destinados a morder un cabo para sujetarlo y en el mástil suelen estar colocadas después de las salidas de la driza, en la parte inferior del mástil, y se usan para fijar las drizas en momentos determinados. Una de sus posiciones más frecuente es en el carro del tangón, con la función de fijarlo. Cuando el programa de navegación de un velero es de tripulación reducida, se colocan más mordazas para facilitar la maniobra.

Existen barcos que tienen toda la maniobra de drizas en el mástil. En estos casos es necesario tener instalados los winches en el mástil y para ello es necesaria una base plana colocada al costado del mástil que permite la instalación de los winches.

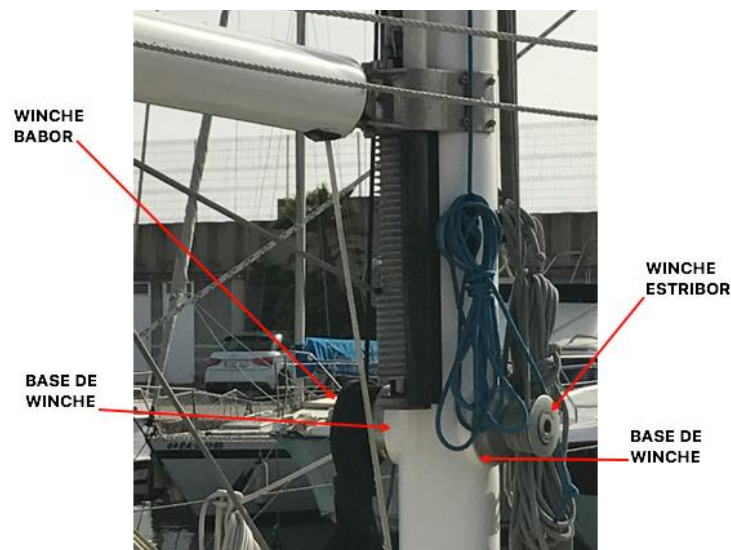


Ilustración 39 - Maniobras de drizas en el palo. Fuente: propia.

Otro elemento accesorio que sobre todo se utiliza en barcos de grandes esloras, cuando la botavara queda muy alta, son los peldaños de mástil, que van collados al palo.



Ilustración 40 - Peldaño de mástil. Fuente: propia.

3.2 Botavara

Es una percha horizontal que está unida al mástil y su principal función es sostener la vela mayor por el pujamen y permite ajustarla tanto en trimaje como en tener la posibilidad de reducir la superficie vélica con los rizos. Como en los mástiles hay botavaras enrollables, que se verán más adelante.

Hay varios aspectos a comentar sobre la botavara con los distintos tipos de unión de botavara con el mástil, tipos de botavara según el sistema de izado, el equipamiento que tienen para poder accionar el pajarín y poder realizar rizos.

Una botavara, como el mástil, tiene distintas características entre las que destacan la resistencia, la solidez, la ligereza y una forma aerodinámica.

3.2.1 Sistemas de unión

La botavara está unida al barco por tres sistemas. El sistema principal son los pinzotes que la unen al mástil por su extremo de proa. Además, está unida al casco mediante la contra y la escota.

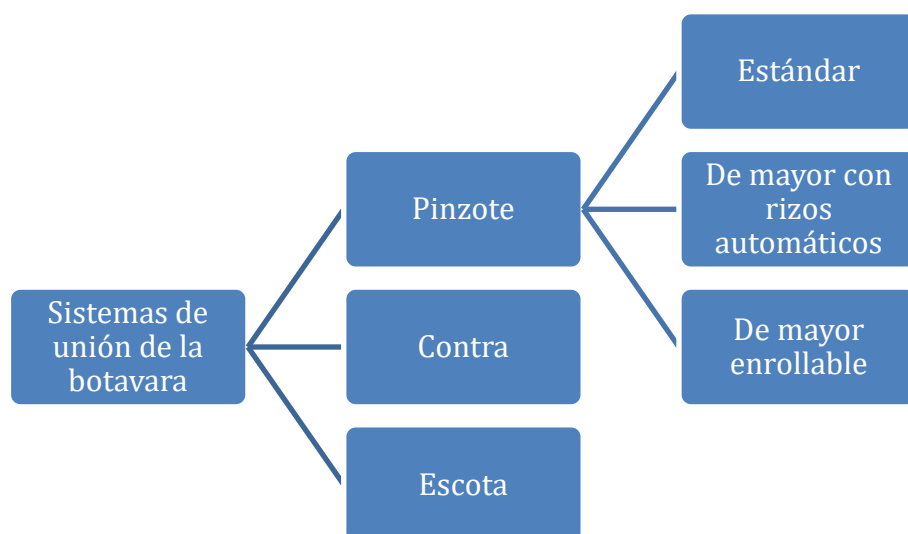


Tabla 2 - Sistemas de unión de la botavara. Fuente: propia.

Pinzote

La unión del extremo de proa de la botavara con el mástil se realiza mediante un elemento que recibe el nombre de pinzote. Se trata de un herraje articulado que está unido al palo mediante remaches y en el cual se encaja el terminal de proa de la botavara. Este elemento permite a la botavara orientarse en sentido horizontal y vertical. Para su funcionamiento la botavara debe poder orientarse, sin forzar el pinzote, desde la cubierta hasta un ángulo aproximado de 50 grados en sentido vertical y hasta tocar los obenques en sentido horizontal.

Hay tres tipos de pinzotes: estándar, de mayor con rizos automáticos y de mayor enrollable.

El estándar se caracteriza por poder amurar la vela en él, tanto cuando la vela está izada del todo y cuando hay algún rizo. Cuando está totalmente izada la vela se amura con un grillete o pasador en el pinzote. Ya cuando hay un rizo se amura en el ollao de la vela en un gancho que se llama comúnmente cuerno.

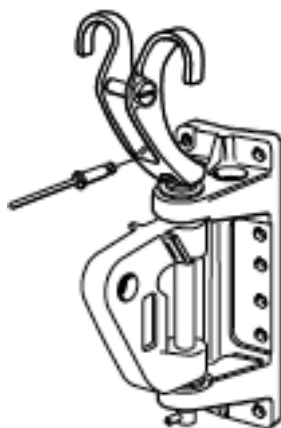


Ilustración 41 - Pinzote de botavara estándar. Fuente: Selden.

Si la botavara tiene el sistema de rizados automáticos la vela se amurada del mismo modo que el sistema anterior pero no tendrá los cuernos comentados anteriormente. La botavara de rizados automáticos de un solo cabo tiene en su interior unas placas cuadradas, cada placa tiene dos roldanas, una dirige el cabo de la amura del rizo y el otro el del rizo de escota, de la botavara sale un cabo. Por este motivo el grátil y la baluma se rizan al mismo tiempo.



Ilustración 42 - Botavara con rizados automáticos. Fuente: Selden.

Otro sistema de rizados automáticos más simple que consiste en dos cabos, uno que va en el puño de amura del rizo y otro cabo que va en el puño de escota de rizo. Es parecido al sistema anterior pero no hace falta tener una botavara especial.

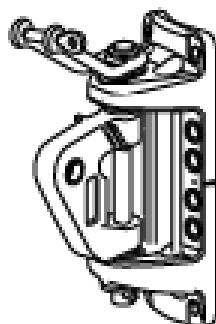


Ilustración 43 - Pinzote de botavara de rizados automáticos. Fuente: Selden.



Ilustración 44 - Pinzote con rizos automáticos de botavara simple. Fuente: propia.

Los pinzotes de mayor enrollable son los más simples ya que la vela se amura en el mismo perfil del enrollador, no hay cuernos ni ningún sistema para amurar los rizos, ya que en este tipo de aparejos la vela se amura en el interior del perfil del mástil y no se riza amurándola.

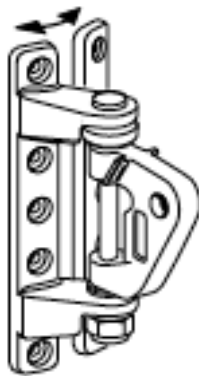


Ilustración 45 - Pinzote de botavara de mayor enrollable. Fuente: Selden.

Contra

En los veleros de más de 6 metros de eslora la contra de botavara está compuesta por dos tubos, uno metido dentro del otro y un resorte o cilindro neumático ubicado en el interior de los ambos tubos. Este conjunto conforma la parte rígida de la contra. Para poder ajustar la tensión de la contra se monta un aparejo de cabo con poleas, dispuesto paralelamente a la contra rígida. El cabo que sale de la contra se dirige hacia el piano pasando por la polea de la base del mástil. Para barcos de grandes esloras se suelen instalar contras hidráulicas, con un sistema de ajuste hidráulico que funciona mediante un pistón hidráulico que se acciona por una bomba.



Ilustración 46 - Contra rígida Selden, con vista interior apreciando el cilindro neumático. Fuente Selden.

La contra o retenida une la botavara con el mástil, pero la principal función es evitar que el extremo de popa tienda a subir y mantenerla entre 90 y 50 grados respecto al mástil, en rumbos abiertos cuando la mayor esta izada. La abertura de la contra tiene un efecto directo en la vela mayor en rumbos abiertos cuando la botavara está separada del barco lateralmente, cierra o abre la baluma. En rumbos cerrados, como en la ceñida la escota de mayor hace la función de contra. La contra de mayor se afirma en el tercio de proa de la botavara y en cara de popa del palo.



Ilustración 47 - Contra de botavara. Fuente: propia.

Escota de mayor

La escota de mayor también retiene y une la botavara al barco. Su función principal es ajustar la abertura lateral de la botavara, teniendo un efecto directo en el trimaje de la vela mayor. Existen muchos sistemas de escota de mayor, en este capítulo se comentarán los más usados.

El primero es el 6:1 con un 24:1, es un sistema de poleas que se ven en escotas de mayor en barcos de 35 a 40 pies de eslora y con programas de navegación crucero regata. No es necesario un winche para cazar al máximo la vela.

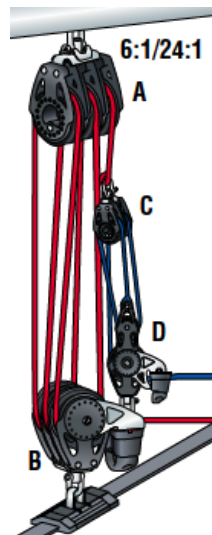


Ilustración 48 - Escota de mayor 6:1 y 24:1. Fuente: Harken.

Otro sistema, es el denominado “alemana”, que se encuentra en barcos de regata o regata/crucero y en esloras de 37 a 50 pies. La escota se tensará con ayuda de winches.

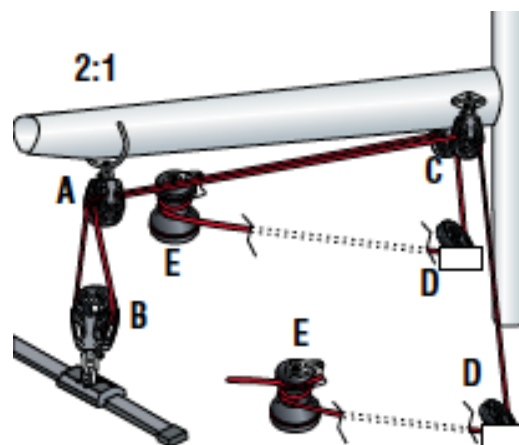


Ilustración 49 - Escota de mayor “alemana”. Fuente: Harken.

Otro sistema muy frecuente en las embarcaciones de crucero es el sistema con escoteros sobre la cabina. La ventaja de este sistema es que la bañera queda limpia. En los otros sistemas la barra de escota está en el medio de la bañera.

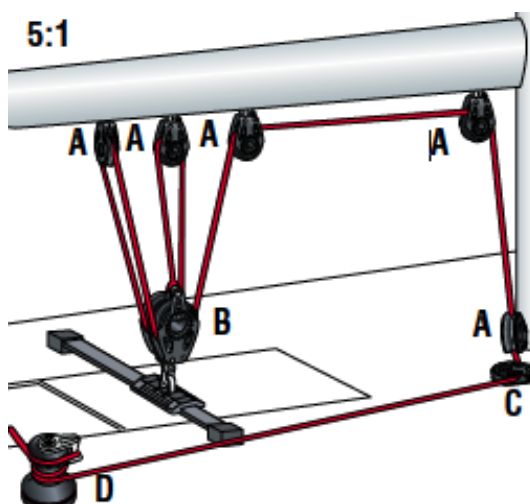


Ilustración 50 - Escota de mayor sobre cabina. Fuente: Harken.

3.2.2 Tipos de botavara

Hay distintos tipos de botavaras en función de la sección y del mecanismo de almacenaje de la vela: simples, enrollables y con forma de “Y”.

La botavara simple está compuesta por una sección con dos terminales en sus extremos. Estos terminales contienen las roldanas que guían la entrada y salida de los cabos que discurren por el interior del perfil de la botavara como los rizos y el pajarín. En otras ocasiones las botavaras simples solo disponen del terminal en el extremo de proa y las roldanas del extremo de popa van empotradas en la parte superior del extremo de popa de la botavara.



Ilustración 51 - Botavara de Carbono. Fuente: Oscar Torrades.

La botavara también puede ser enrollable. En este tipo de botavaras la vela se enrolla por el pujamen en un eje cilíndrico situado en el interior de la sección, normalmente con forma de “U”.

La botavara enrollable está compuesta por un eje cilíndrico sobre el que irá enrollada la vela, la propia sección de la botavara en forma de “U”, un tambor, un sistema de ruedas dentadas, habitualmente situadas en el interior del mástil y un perfil añadido al mástil que permite que la vela

se enrolle sobre el eje de la botavara. Estas botavaras están unidas al mástil por el propio tambor y por un pinzote en la parte inferior de la botavara.



Ilustración 52 - Botavara enrollable. Fuente: North Sails

El eje cilíndrico tiene, en la parte central de la botavara, un perfil de relinga en el que se introduce una parte del pujamen que tiene la función de guiar la vela para que se enrolle sobre el eje cuando se accione el enrollador. De esta manera, la vela está unida al perfil por el puño de amura, el puño de escota y por la parte central del pujamen.

El tambor, situado en la parte delantera del eje de la botavara, es el mecanismo que transmite el giro al eje. A su vez, el tambor gira por el accionamiento del sistema de ruedas dentadas.

El sistema de ruedas dentadas puede estar accionado por un mecanismo de cabo sin fin o por un motor que puede ser tanto eléctrico como hidráulico. Una rueda dentada está engranada al tambor y al sistema de accionamiento. El motor se encuentra situado en el interior del mástil.

Para que la vela se enrolle en la botavara por el pujamen es necesario un perfil añadido al mástil. La existencia del tambor hace que el eje esté situado más a popa de la unión de la botavara con el mástil por lo que se retrasa la ubicación del puño de amura hacia popa y la relinga del grátil no queda alineada con el perfil del mástil. Este hecho exige una modificación en la forma de la vela que afecta tanto al puño de amura como a la zona inferior del grátil. Además, se añade a la zona inferior del mástil un perfil de relinga para guiar el grátil de la vela hacia el eje de la botavara respetando el retraso explicado. Hay dos tipos de perfiles que realizan esta función: un perfil añadido al mástil de manera paralela o un perfil unido al mástil con cierto ángulo tipo *tuff-luff*.



Ilustración 53 - Botavara enrollable. Fuente: Brenta 42 YouTube.

Como se ha visto hasta ahora, el accionamiento del enrollador puede ser manual. Como este tipo de botavaras se utiliza mucho en barcos de grandes esloras, en general, se utilizan el sistema eléctrico o el hidráulico, ya que, por las grandes superficies de las velas, manualmente requiere mucho esfuerzo. Aunque las botavaras enrollables eléctricas o hidráulicas cuentan además con un sistema alternativo para que, en caso de fallo del motor, se pueda accionar manualmente el giro del eje con manivela.



Ilustración 54 - Sistema de botavara enrollables manual y sistema de emergencia. Fuente: Furler boom.

Otro tipo de botavara es la botavara en “Y” también llamada “Park Avenue”. Se trata de una botavara de carbono diseñada para barcos de grandes esloras, el problema de estos veleros es poder plegar la vela mayor encima de la botavara, por este motivo se diseñó la “Park Avenue”. Tiene una forma triangular facilitando el almacenaje de la vela la toma de rizos y la estiba de la vela en los cruceros de grandes esloras. Su característica principal es que tiene la función de guardar la vela mayor en su interior sin necesidad de enrollador. Tienen una guía en cada una de las paredes laterales de la sección para la colocación de un toldo.

El sistema de pajarín es distinto a los vistos hasta ahora. En el último metro de botavara de más a popa hay un carril donde va un carro con roldana donde ira el puño de escota de la mayor.

3.2.3 Equipamiento

Pajarín

Aparejo situado en la botavara que permite ajustar el pujamen de la vela mayor y, por lo tanto, su embolsa miento. Al tensarlo se aplana la vela y al amollarlo se embolsa.

Habitualmente, está compuesto por un cabo que está sujeto a la vela por el puño de escota, de allí va a parar a una roldana a popa de la botavara en la que cambia de sentido y va a un sistema de poleas, situado en el interior de la botavara, que sirve para desmultiplicar la tensión. De este sistema de poleas sale otro cabo que va a la roldana de proa de la botavara, desde la que baja verticalmente hasta una polea en la base del palo en la que cambia de dirección hacia popa hasta el piano, desde donde se regula.

Otro sistema es el hidráulico, en el que se sustituye el sistema de poleas por un pistón, también ubicado en el interior de la botavara, que se acciona hidráulicamente.

Rizos

La toma de rizo simple con botavara simple normalmente está compuesto un solo cabo, este va atado a la botavara sube hacia el puño de escota del rizo, vuelve a bajar hacia la roldana de popa de la botavara, pasa por el interior de la botavara hasta encontrarse con la roldana de proa de la botavara, sale paralelo al mástil, cambia de sentido con una polea de pie de palo dirigiéndose hacia *stopper* del piano.

El ollao en el grátil de la vela se introduce en uno de los cuernos situados en el extremo de proa de la botavara. La baluma se riza con un cabo, el cabo pasa por el interior de la botavara, cuando sale baja hacia la cubierta paralelo al mástil hasta pasar por una polea situada en base del palo que esta la guía hacia bañera donde se encuentra el *stopper* del piano.



Ilustración 55 - Mayor con dos rizos. Fuente: propia.

Lazy jacks

Como su nombre en inglés indica *lazy* significa vago, es un sistema de cabos que va de la botavara hacia la primera o segunda cruceta del palo. Evita que la vela al bajarla no se caiga hacia la cubierta consiguiendo que se mantenga encima de la botavara.

Este sistema es muy usado en barcos de crucero y en barcos de regata de tripulación reducida.



Ilustración 56 - Funda lazy jack para botavara aveneu. Fuente: propia

3.3 Tangón

El tangón es la percha que sirve para amurar a barlovento del puño de amura del spi o el puño de escota del génova en rumbos portantes. El extremo que se fija el palo se llama coz.

El tangón es un tubo cilíndrico normalmente de aluminio o carbono, que tiene que soportar grandes esfuerzos de compresiones y al mismo tiempo debe ser ligero por razones de facilidad de maniobra y de seguridad, al estar colocado casi siempre a la altura de la cabeza de los tripulantes. En sus extremos se instalan unos terminales, en los que, por un lado, irán las escotas y, por el otro, se une al mástil.

Paralelo a la cubierta, a una altura de 1,5 metros o más, en función del viento. La altura se gradúa por ambos extremos. Por el terminal de proa, se gradúa mediante el amantillo que es una driza que sale por debajo del estay y por la coz se puede graduar o no. Si es fijo el palo tendrá un cáncamo o dos, a distintas alturas. Si el mástil tiene un carro en la parte de proa se podrá graduar.

Los cabos que interviene para graduar el tangón son:

- El amantillo es una driza que sale por debajo del estay de proa. Esta driza gradúa la altura de la punta de más a proa. El amantillo va enganchado al tangón o por la puntera de proa o por una pata de gallo que tiene una anilla en el medio del tangón. Dependiendo de si es de coz fija o pivotante.
- La retenida o contra de tangón es una cabo que va por cubierta y se une al tangón, en la puntera o por la pata de gallo distinta a la del amantillo. La función es controlar la altura de la punta de proa, si no hubiera contra el tangón tendría tendencia a ir hacia arriba.

- La braza es el cabo que va unido la vela, en el puño de más a barlovento, este cabo pasa por la punta de tangón. La función de la braza llevar el puño de la vela a barlovento.

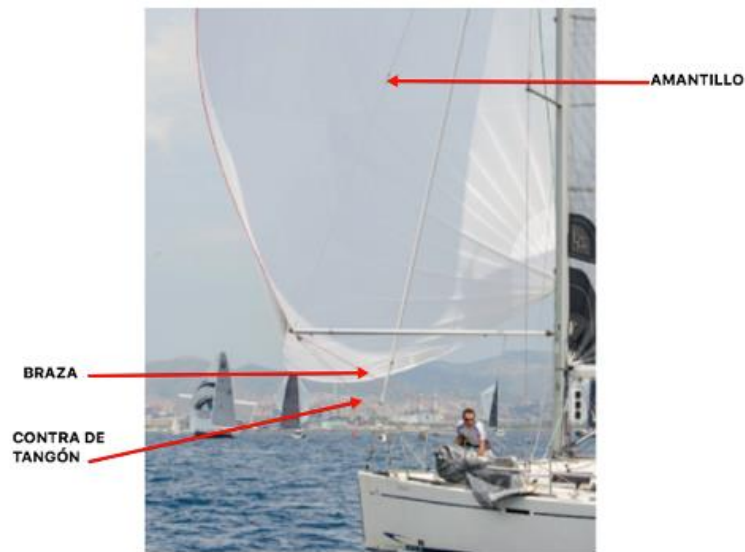


Ilustración 57 - Cabos que intervienen en el tangón. Fuente: Propia

Tipos de tangón:

- Fijo en la coz, el palo en la parte de proa tendrá un carril con un sistema de poleas y un carro en el carril con un pinzote de tangón que se acoplara ala puntera del tangón.



Ilustración 58 - Tangón con coz fija. Fuente: Selden.

- Pivotante, en la parte de proa del mástil tendrá un o varios cáncamos fijos. El tangón tendrá dos punteras iguales en los dos extremos del tubo.



Ilustración 59 - Tangón pivotante, coz con carro. Fuente: propia.

Las puntas de tangón son elementos que se colocan en los extremos del tubo cilíndrico. La punta tiene dos partes, una parte que tiene la forma del tubo, que ira en su interior, el diámetro exterior de la puna coincide con el diámetro interior del tubo. La otra parte de la punta es donde se enganchará la braza, esta tiene forma de gancho, para que no se salga el cabo de la braza hay un pistón que cierra el gancho.

3.4 Botalón

El botalón es una percha dispuesta en la proa del barco longitudinalmente que sobresale por la proa y su función principal es amurar velas asimétricas, otra función es la de alejar del barco el puño de amura y en consecuencia el grátil de la vela. El material tiene que tener la característica de rigidez y ser muy poco flexible.

Los cabos que interviene en la maniobra con botalón, es mucho más simple que la maniobra con tangón, solo intervine un cabo el *tackline* o cabo de amura, es el cabo que sale desde la zona de piano hasta el extremo de más a proa del botalón. Su función es regular y aguantar el puño de amura de la vela.

El botalón se puede ser de dos tipos. Estructural, el botalón es parte de la obra muerta del barco. Normalmente estos botalones tienen un tirante de seguridad que va del extremo hasta la proa del barco casi en la línea de flotación.



Ilustración 60 - Botalón estructural. Fuente: Juanpanews.com

Otro tipo es el botalón móvil que sale desde dentro del barco. Este tipo lo encontramos en barcos de regata *one desing* como por ejemplo en J80 o Swan 42, pero también lo podemos ver en barcos de

serie de crucero como en el Dufour 36. La característica de este botalón es que se puede extender o retirar de la proa del barco con un sistema de poleas desde bañera. Cuando no se el botalón se lleva escondió, dentro de barco. La ventaja es que no frena aerodinámicamente en rumbos donde no se usa el botalón.



Ilustración 61 - Swan 42 con botalón retirado. Fuente: YachtWorld.com



Ilustración 62 - Swan 42 con botalón extendido. Fuente: Expo

El último tipo de botalón que hay actualmente en el mercado es el botalón de cubierta de poner y sacar. Es un tubo cilíndrico con una puntera en cada extremo, la puntera del extremo de popa se engancha en un cáncamo fijo de cubierta. En el extremo de proa hay potra puntera que tiene un agujero que por donde pasa el cabo de amura. Es recomendable colocar un guía botalón.



Ilustración 63 - Botalón Selden sobre cubierta. Fuente: propia.

3.5 Materiales

En la mayoría de los casos, todas las perchas de un barco son del mismo material. Se utilizan tres tipos de materiales para la construcción de mástiles y perchas: madera, aluminio y carbono.

La gran mayoría de mástiles y perchas producidas hoy en día son de aluminio. Este material ha demostrado ser altamente satisfactorio en cuanto a su resistencia, rigidez, ligereza y bajo mantenimiento. Sus principales deficiencias son su falta de atractivo estético, la vulnerabilidad a la corrosión y la tendencia a producir ruido, especialmente cuando son golpeadas por las drizas. Estos problemas se alivian añadiendo espuma en el interior del mástil para reducir el ruido y pintando, anodizando o pulverizándolos para mejorar su apariencia y protegerlos contra la corrosión. También hay que tener en cuenta que al instalar los accesorios con tornillos de acero inoxidable hay que colocar una protección intermedia que suele estar compuesta por una arandela de nylon y una pasta *Tefgel*.



Ilustración 64 - Mástil de aluminio. Fuente: propia.

El siguiente material más utilizado y el más antiguo, es la madera. Los palos de madera modernos normalmente son de abeto Sitka. Aparte de su atractivo estético, tienen buena flexibilidad, buena resistencia a la fatiga, se recuperan bien de la deformación, no sufren corrosión y son fácilmente ahusados y conformados. Su principal inconveniente es que necesitan un riguroso mantenimiento, siendo el pudrimiento de la madera consecuencia directa de un déficit de mantenimiento. Otro de sus inconvenientes es su peso, siendo mucho mayor que los de aluminio. Actualmente se utiliza en los barcos clásicos y de época.



Ilustración 65 - Mástiles de madera. Fuente: Propia.



Ilustración 66 - Mástil de carbono pintado de blanco. Fuente: propia.

La fibra de carbono durante las últimas décadas se ha reservado para los barcos de competición y de grandes esloras. Sus principales ventajas son su ligereza y rigidez. Cabe destacar que en la actualidad ya se empieza a implementar en veleros de crucero regata que ya salen de astillero con el mástil y el resto de sus perchas de fibra de carbono, ya que la evolución de la industria ha llevado a que su precio sea más económico. Para su mantenimiento es necesario pintar o barnizar para evitar que la fibra se deteriore. No se pueden colocar remaches, por lo que todos los accesorios se deben instalar atornillándolos. Hay que tener en cuenta que el carbono es un material conductor, por lo que es necesario que esté aislado para evitar la corrosión. Las crucetas coinciden con el material del mástil al que pertenecen. Con la botavara y el tangón suele suceder lo mismo, aunque puede ocurrir que un mástil de aluminio lleve una botavara y un tangón de carbono, en un barco de semi competición.

Capítulo 4. Jarcia firme

La jarcia firme tiene la función principal de sujetar o sostener el palo. Agrupa todo tipo de cabos o cables, así como sistemas de fijación y reglaje. Todos los arraigos de la jarcia deben permitir el movimiento de los terminales para evitar roturas por rotación y torsión.

Todas las jarcias firmes deben cumplir tres características:

- Delgada para tener la mínima resistencia aerodinámica.
- Ligera, cualquier peso en la parte superior de un barco disminuye la estabilidad.
- Resistente, estableciendo el límite entre las dos anteriores.

4.1 Elementos de la jarcia y su nomenclatura

En este capítulo se describen los principales elementos que conforman la jarcia, destacando los obenques, obenquillos, burdas, baby estay, estay, back estay, estay de trinqueta y las crucetas.

Obenques: son los cables encargados de aguantar el palo transversalmente. El de babor impide la caída del palo hacia estribor, el de estribor, que no caiga a babor. En el apartado 5.2 y 5.3 se explica cómo se clasifican los obenques y su nomenclatura.

Obenquillos: son cables parecidos a los obenques, pero con una disposición distinta. Hay obenquillos proeles y popeles. Los de proa siempre llevarán más tensión para evitar la inversión del mástil y proporcionar la flexión hacia proa. De esta manera, al caer el aparejo a sotavento, el obenquillo proel actúa fuertemente llevándose la panza hacia proa, relegando a los obenquillos de popa la misión de limitar esta fuga. Esta disposición es bastante anticuada y ya está superada, aunque todavía se ve en muchos barcos. La cantidad de jarcia es excesiva, con el gran inconveniente de que los obenquillos popeles no permiten abrir adecuadamente la botavara en rumbos muy abiertos.

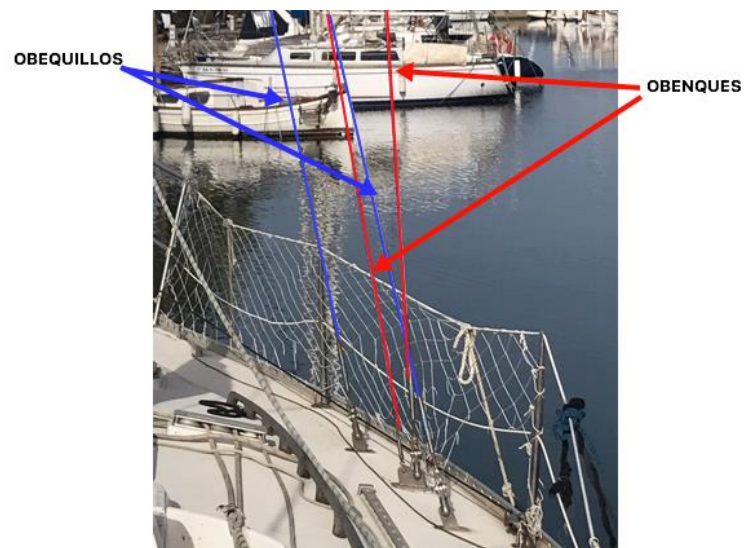


Ilustración 67 - Obenques y obenquillos. Fuente: Propia.

Burdas: son dos cables que van desde la altura de los obenques altos hasta la popa del barco, un cable sale por estribor y otro por babor. La función de las burdas es controlar la flexión hacia proa del palo, impidiendo que curve demasiado. En la actualidad en aparejos fraccionados con crucetas retrasadas se suprimen las burdas.



Ilustración 68 - Burdas. Fuente: Propia.

Baby estay: se trata de un cable que arraiga en el tercio inferior de la parte de proa del mástil. Se usa principalmente en aparejos a tope de palo, aunque en veleros de grandes esloras con aparejo fraccionado también se encuentra. Su principal misión es impedir que el palo se invierta, tirando de la panza hacia proa. Es la evolución de los obenquillos de proa para los aparejos de tope de palo.



Ilustración 69 - Baby estay. Fuente: propia.

Estay: es el cable que dependiendo del tipo de aparejo sale de la perilla siendo aparejo de tope de palo o sale un poco más abajo si es aparejo fraccionado. El estay tiene la función de evitar que el palo se incline hacia popa.

Back estay: es un cable, normalmente regulable que impide que el polo se incline hacia proa. El back estay en aparejos fraccionados puede llegar a ser un instrumento de trimaje de la mayor, consiguiendo controlar la baluma de la mayor. En los aparejos a tope de palo no se regula, se usan la burdas.

Estay de trinqueta: se trata de un estay más bajo que el principal que encapilla por debajo de la perilla y arraiga en el triángulo de proa. Por él se izan las velas trinquetas, más pequeñas que los génovas y muy adecuadas para navegación con tiempo duro. También permiten aumentar la superficie vélica en rumbos abiertos, al combinar dos velas en proa simultáneamente.

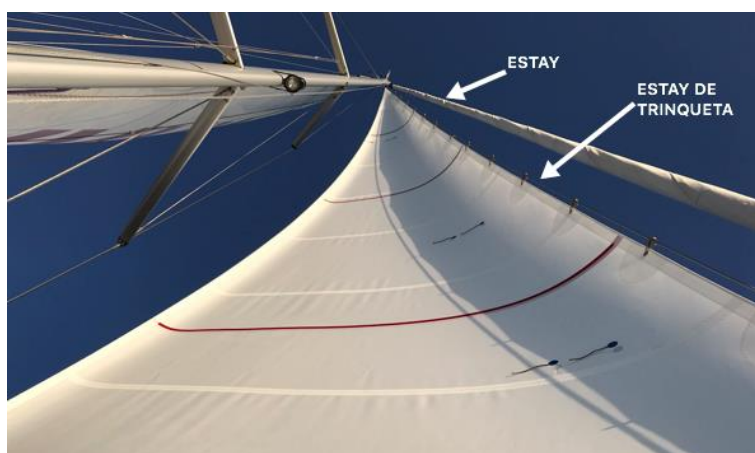


Ilustración 70 - Estay de trinqueta. Fuente: propia.

Es un elemento importante en la sujeción longitudinal del palo, pero es recomendable siempre que se ice la trinqueta contrarrestar el esfuerzo con una burda que arraigada al palo en el mismo lugar que este segundo estay. Si no es así, se puede llegar a romper el palo en su parte superior.

En una embarcación moderna dotada de estay de trinqueta, éste puede ser volante al igual, que las burdas que lo asisten.

Crucetas: son los pequeños perfiles que ayudan a sujetar el palo transversalmente. Debido a la pequeña dimensión de la manga en relación con la eslora, el ángulo de trabajo de los obenques impide una óptima sujeción lateral del palo. Matemáticamente, un cable necesita salir con un ángulo de unos 13º para que su función sea efectiva y no rompa por tracción. Si no hubiera crucetas, la prolongación de los obenques desde la salida del mástil hacia abajo caería fuera del barco.



Ilustración 71 - Prolongación de la salida del obenque a 13 grados aproximadamente. Fuente: propia.

Por esta razón, el obenque alto al llegar al extremo de la cruceta con el ángulo adecuado es desviado hacia la cubierta. La tensión del obenque alto, transmitida a la cruceta, da una compresión que se traduce en una flexión en el mástil en la zona de la base de la cruceta. Para evitar esta flexión, la geometría obliga a colocar un obenque bajo que tire de esta sección impidiendo la flexión del palo.

Según el tipo de palo que se pretenda poner en un velero habrá distintos pisos de crucetas, dependiendo de la rigidez del palo. Por ejemplo, un barco de crucero con un palo de aluminio muy rígido requiere pocos pisos de crucetas, a veces sólo uno. Un barco de regatas, en el que se busca el mínimo perfil, el mínimo peso y la máxima elasticidad del palo para adaptarlo a la vela y a las condiciones de viento, necesitará más crucetas para sostenerlo. Sea cual sea el número de pisos de crucetas, una cruceta precisará de un obenque diagonal que contrarreste la compresión ejercida al palo.

Otro factor muy importante a tener en cuenta en las crucetas es su ángulo respecto a la crujía. Cuando las crucetas están a 90º desempeñan un papel de sujeción transversal, pero cuando se retrasan unos 8 o 12 grados también influyen sobre la flexión longitudinal del mástil. En efecto, una cruceta retrasada conlleva el hecho de que el palo fleche hacia proa en ese tramo. Las crucetas

perpendiculares permiten abrir más la botavara, pero se pierde control sobre la flexión longitudinal. Si el aparejo es a tope, aparece el baby estay o los obenquillos que tiran hacia proa desde la panza del mástil. En un aparejo fraccionado se acostumbra a dotar al palo de una ligera pre-flexión para evitar que se invierta el perfil.



Ilustración 72 - Crucetas retrasadas. Fuente: propia.



Ilustración 73 - Crucetas rectas. Fuente: propia.

La orientación vertical de las crucetas debe ser la que coincida con la bisectriz del ángulo formado por los dos tramos de obenque, aunque en muchas ocasiones simplemente se colocan de manera perpendicular al palo.

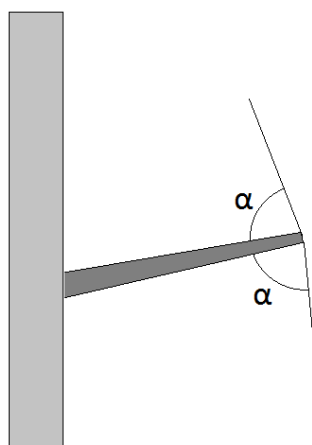


Ilustración 74 - Orientación vertical correcta de las crucetas. Fuente: Berta Gómez.

4.2 Jarcia continua (obenques)

Se denomina así a la jarcia compuesta por obenques que son continuos, desde el arraigo del palo hasta el cadenote de cubierta.

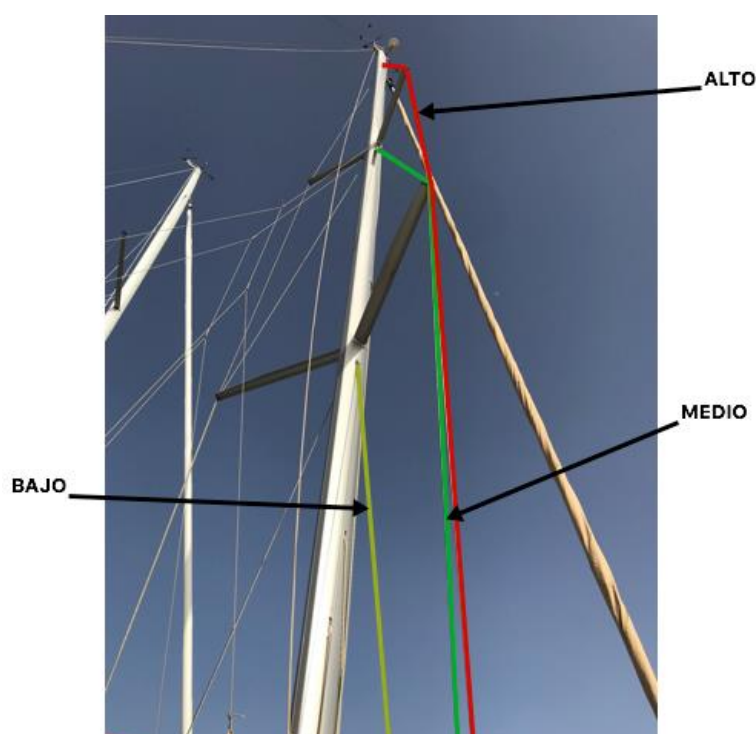


Ilustración 75 - Obenques de jarcia continua. Fuente: propia.

Normalmente la jarcia continua es de cable y cuando el obenque pasa por el extremo de la cruceta es muy importante que se fije sobre ella, ya sea con guarda cables o terminales de crucetas, como se ha visto en el apartado de crucetas del punto 3.1.4 Equipamiento. La sujeción de la cruceta con el cable es importante porque en la jarcia de sotavento, que se mueve con los movimientos del barco, puede desplazarse de la cruceta.



Ilustración 76 - Obenque alto pasa por terminal de cruceta. Fuente: propia.

Según el número de crucetas se distingue entre obenques altos, obenques medios y obenques bajos. Cada obenque acaba en un tensor sobre cubierta, por lo que el trimado y el revisado de tensores se puede realizar desde abajo, sin tener que subirse al palo. Es la jarcia típica en embarcaciones de crucero.



Ilustración 77 - Los tres obenques llegan a cubierta. Fuente: propia.

4.3 Jarcia discontinua (obenques)

Es una jarcia que va por tramos. Cambia la nomenclatura de altos, medios y bajos, para definir diagonales y verticales por tramos. Empezando desde cubierta, en el primer tramo se encuentran el D1 y el V1. El V1 nace en la cubierta, donde habrá un tensor, hasta un arraigo que descansa en el extremo de la primera cruceta. En la parte superior de este terminal de cruceta se unen el D2 y el V2. Y así sucesivamente, siendo el último vertical que nace en la penúltima cruceta, pasa por la última y

arraiga en el palo. El D1 nace en la cubierta, con su correspondiente tensor, y va hasta un arraigo colocado en el palo por debajo de la primera cruceta.

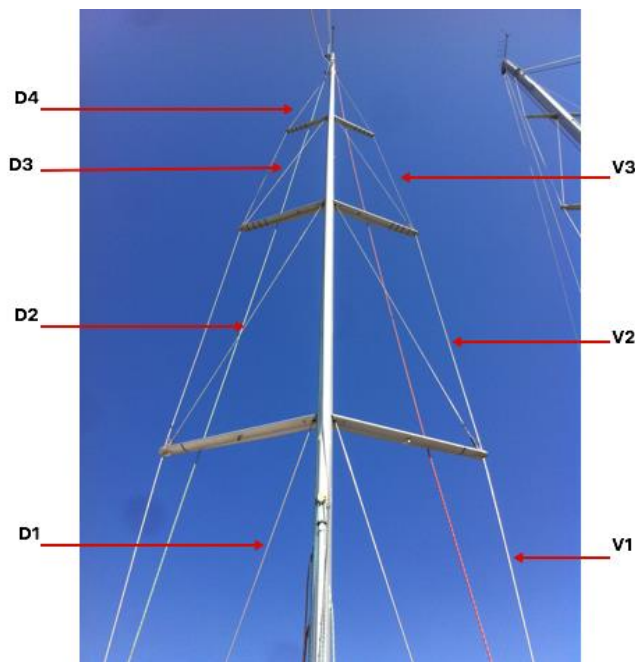


Ilustración 78 - Obenques de jarcia continua. Fuente: propia.

A diferencia de la jarcia continua, no todos los tensores están en cubierta. En cubierta solo están los tensores del V1 y D1. Los otros tensores están en sus correspondientes pisos de cruceta. Por ejemplo, para poder trimar el D2 se subirá una persona a la segunda cruceta.



Ilustración 79 - Tensado el obenque D2 en la cruceta. Fuente: propia.



Ilustración 80 - Tensores típicos de cubierta. Fuente: propia.

4.4 Sujeción del mástil y esfuerzos

4.4.1 Sujeción del mástil

Se pueden definir dos tipos de sujeción del mástil: la lateral y la longitudinal.

Sujeción lateral:

De la sujeción lateral se encargan los obenques y las crucetas, también llamada jarcia lateral.

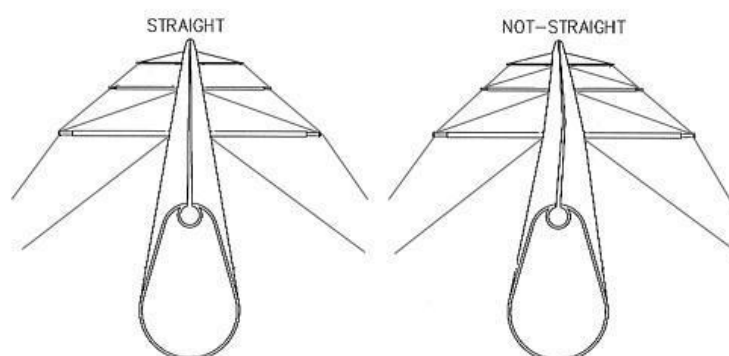


Ilustración 81 - Jarcia lateral. Fuente: theriggingpoint.com

Los obenques salen del palo con un ángulo de entre 10 y 13 grados respecto al mástil. Como ya se ha explicado en este capítulo, con este ángulo el obenque saldría fuera del barco, por este motivo se instalan las crucetas, que tienen la función de dirigir el obenque hacia la cubierta del barco.

Cada obenque proporciona un esfuerzo de compresión lateral de la cruceta hacia el mástil por lo que se instala otro obenque que sale de debajo de la cruceta con un ángulo de 13 grados, para evitar que el palo se curve lateralmente, y anular la compresión de la cruceta sobre el palo. Este sistema se utiliza en todos los pisos de crucetas.

Antiguamente, cuando se diseñaba la jarcia, el aparejo lateral acababa en cubierta, entre la cabina y la regala, dejando un pasillo lateral para poder cazar los génovas acercándolos a la línea de crujía. En estos casos se comprometía la sujeción lateral con el trimado del génova, ya que cuanto más se pudiera cazar más podría ceñir el barco.

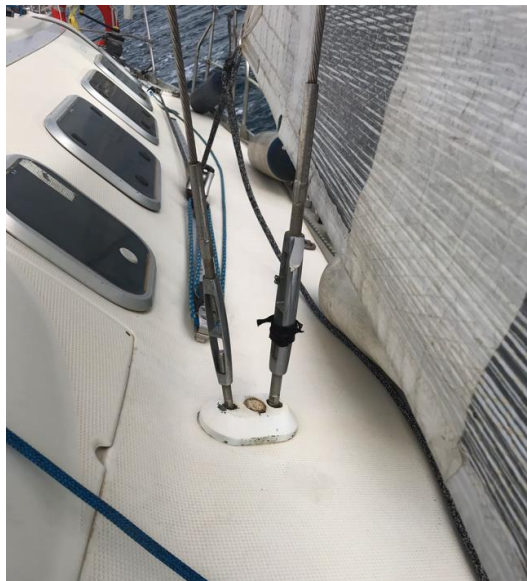


Ilustración 82 - Cadenotes de los obenques. Fuente: propia

En la actualidad, el diseño de las jarcias suele ser de aparejos fraccionados, en los que los cadenotes de los obenques están ubicados en la regala de cubierta y las crucetas son más anchas y retrasadas. Desaparece la necesidad del pasillo lateral para poder cazar los génovas ya que los veleros actuales van aparejados con foques y mayores más grandes. Con este diseño aumenta la sujeción lateral del mástil y depende menos del estay y del back estay. La ubicación de los cadenotes en las regalas implican una cubierta más despejada consiguiendo mayor comodidad y confort.



Ilustración 83 - Cadenotes situados casi en la regala. Fuente: propia.

Sujeción longitudinal:

De la sujeción longitudinal se encargan básicamente el estay y el back estay.

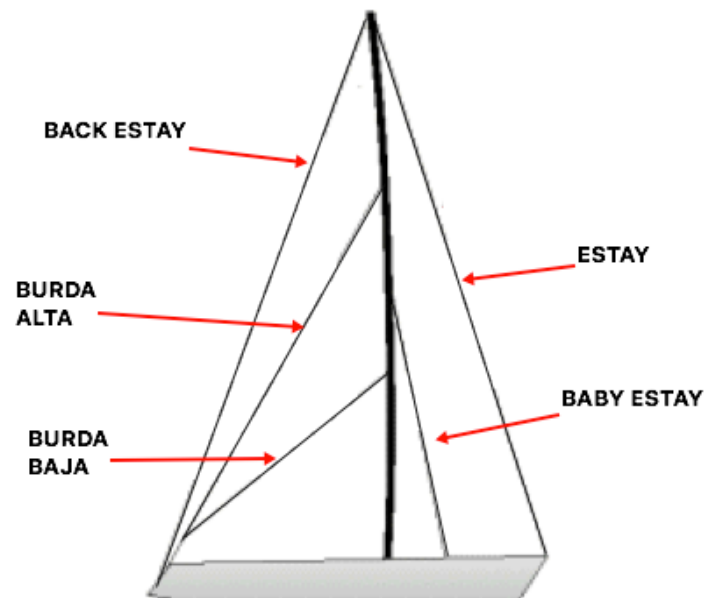


Ilustración 84 - Elementos de la sujeción longitudinal. Fuente: propia.

Es más difícil de conseguir que la sujeción lateral, pues en este sentido no siempre se pueden multiplicar los arraigos. Al ser muy grande el esfuerzo de compresión que sujeta el conjunto estay-back estay, en muchas ocasiones no es posible aparejar más de un estay y un back estay.

A veces se instalan arraigos intermedios, como, por ejemplo: baby estay, estay de trinqueta, obenquillos o burdas.

4.4.2 Esfuerzos

El mástil sufre distintas tensiones. Un de ellas es la compresión, no sólo por su propio peso, sino también por la resultante de la jarcia que lo aguanta. Otra es la flexión, ya sea longitudinal a lo largo de todo el perfil, o transversal en los tramos entre crucetas y en su parte superior si el aparejo es fraccionado. Finalmente, a lo largo del palo se produce la torsión, muy importante en el caso de fraccionados con burdas. Localmente, hay compresiones transversales repartidas por el mástil en las bases de las crucetas, pinzote de botavara y herraje del tangón. También hay fuerzas de cizalla dura en los arraigos de la jarcia o en el paso por la fagonadura.

4.5 Aparejo a tope de palo

Como se puede ver en la ilustración 85, la principal característica de este aparejo es que el estay de proa va arraigado a la perilla del mástil, con lo cual los génovas son de gran tamaño.



Ilustración 85 - Aparejos a tope de palo. Fuente: propia.

La jarcia convencional de un aparejo a tope de palo comprende: estay, back estay, obenques laterales y, como mínimo, obenquillos proeles.

El palo debe mantenerse lo más recto posible, por lo que en este tipo de aparejos no se buscará una pre-flexión del mástil. Las enormes tensiones generadas por la gran superficie del génova transmiten mucha compresión al palo, por lo que es importante mantener su verticalidad.

Con el aumento de la fuerza del viento, el estay comba a sotavento, y es el back estay el responsable de contrarrestar este efecto, por lo que debe ser fuerte y potente.

Los aparejos a tope de palo se basan en un perfil de considerable diámetro, característica técnica denominada momento de inercia. Este tipo de sección otorga una gran rigidez al palo, que no permite demasiada flexión y garantiza una correcta resistencia a la compresión, principal enemigo de las arboladuras. Esta rigidez comporta que sea la mayor la que tenga que adaptarse al palo, y no al revés, perdiendo algo en prestaciones, pero ganando en seguridad. Por este motivo en el pasado este aparejo era ideal para embarcaciones de crucero. Seguro, fiable y simple.

4.6 Aparejo fraccionado

Fue el arquitecto naval Starling Burgess, diseñador del Copa América Enterprise en 1930, el que introdujo este tipo de aparejos que tanto se utilizan en la actualidad en los que el estay está fijado al palo por debajo del tope.



Ilustración 86 - Aparejo fraccionado. Fuente: propia.

Sus ventajas son varias:

- Disponen de una sección menor, por lo que la vela mayor recibe un viento más limpio.
- Gracias a su flexibilidad y posibilidades de reglaje, se pueden adaptar a la mayor en distintas condiciones de viento.
- Además, al llevar génovas de menor tamaño, se reduce la compresión en el palo y el desvente de la vela de proa a la mayor, por lo que ésta se puede aguantar con más viento al tener la posibilidad de trimarla a sotavento.

- Otra gran ventaja es la dimensión de las velas de proa. Su menor tamaño facilita las maniobras de la tripulación en proa y reduce el momento del cabeceo, además de izar spis menores que se aguantan mejor en traveses cerrados.

Con este tipo de geometría, la sujeción de la parte central del palo no depende de obenques intermedios que arraigan en cubierta, sino que directamente dependen de la tensión que se imprima a los verticales.

4.6 Descripción y materiales de los cables

A excepción de las crucetas, todos los elementos de la jarcia firme están compuestos por cables, la mayoría, de metal. De los elementos descritos hasta ahora, todos menos las crucetas están compuestas por cables de metal. El material más usado es el acero inoxidable AISI 316. Actualmente se distinguen 6 clases de cable en función del número de alambres que lo compone, que pueden ser: 1, 19, 49, 133 o 239.

Cada uno de estos cables presenta ventajas e inconvenientes. Cuanto más finos son los alambres, más flexibles son, aunque como desventajas se desgastan más fácilmente. Además, el cable se estira a consecuencia de la presión. A mayor número de alambres por una misma cantidad de metal, mayor es el diámetro del cable y mayor es su peso. Cuando el cable está compuesto por un número elevado de alambres, al romperse uno de ellos no supone un gran riesgo y avisa de que el material está desgastado.

Los criterios de selección son muy importantes puesto que cada cable tiene un campo de utilización concreto.

4.6.1 Varilla o Rod

Tal como se muestra en la ilustración 87, está compuesta por un solo alambre que está formado por una barra estirada por los extremos.



Ilustración 87 - Varilla. Fuente: www.fondear.org

Al tener un diámetro menor y una superficie más lisa, ofrece mejores condiciones aerodinámicas en cuanto a la carga de rotura máxima. Al ser liso y no tener rugosidad, al rozar con las velas las desgasta poco. Tiene características de estiramiento muy bajas y una vida útil muy larga.



Ilustración 88 - Terminal de cruceta con jarcia de varilla. Fuente: propia.

Los principales inconvenientes son que es caro y frágil. No aguanta las combaduras, el rozamiento, las vibraciones o el golpeteo. Presenta una resistencia mínima a la rotura, que además, se produce sin previo aviso y su inspección visual es complicada. Debe guardarse recto o enrollarse en círculo con un diámetro muy grande.

Se utiliza en la mayoría de los barcos de regata y en los barcos de grandes esloras, tanto para obenques como estays y back estays.

4.6.2 Mono cordón 1X19

Está formado por 19 alambres, unidos de la siguiente forma: alrededor de un alambre denominado alma, se enrollan 6 alambres en forma helicoidal formando una primera capa. Encima de estos alambres, en el mismo sentido o sentido inverso, según la clase de cable, se enrolla una segunda capa de 12 alambres. En total son 1+6+12, 19 alambres.



1 x 19



Ilustración 89 - Cable mono cordón de 1X19. Fuente: www.apsltd.com

Su principal ventaja es su relación resistencia-precio. Su diámetro es aceptable con relación a la resistencia que ofrece. Al ser bastante liso desgasta poco las velas. Se estira muy poco. En el caso que se rompiera un alambre hay tiempo de reacción para cambiar el cable.

Como desventaja presenta un punto de fragilidad indeformable en la zona de salida de los casquillos.

Se utiliza para obenques, estay y back estay.

4.6.3 Dyform

Está formado por un alambre central de mayor diámetro seguido por una capa de 9 hilos más finos y finalmente una envoltura de alambres de sección tal, que hacen que a igualdad de diámetro tengan mejores prestaciones que el mono cordón.

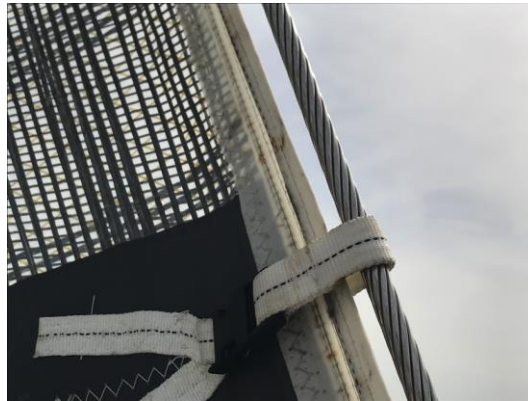


Ilustración 90 - Estay de proa de cable de Dyform. Fuente: propia.

En comparación con el cable de 1x19, presenta un aumento de más del 30 % en la resistencia de rotura y un 25 % menos de estiramiento.

Como desventaja presenta un punto de fragilidad indeformable en la zona de salida de los casquillos y es más caro que el mono cordón.

Se utiliza en los barcos de crucero-regata para obenques, estays y back estays.



Ilustración 91 - Dyform 1X19. Fuente: <http://www.apsltd.com>

4.6.4 Cable clásico de obenque

Este cable está formado por 6 cordones alrededor de un cordón que hace la función de alma y cada cordón está formado por 6 alambres alrededor de un alambre central que realiza la función de alma. También se llama cable de 7x7.

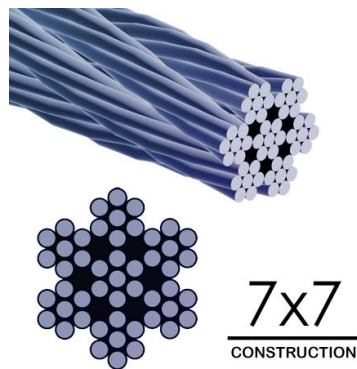


Ilustración 92 - Cable flexible 7X7. Fuente: www.nauticexpo.es



Ilustración 93 - Obenque bajo de cable flexible. Fuente: propia.

Se trata de un cable más flexible y menos frágil que los anteriores.

Como inconvenientes tiene una superficie bastante rugosa y necesita más diámetro que el cable de 1x19, para soportar la misma tensión.

Se utiliza en los barcos clásicos y de época como obenadura. En los barcos modernos se usa para los guardamancebos.

4.6.5 Cable flexible

Está formado por 6+1 cordones de 1+6+12 alambres. También se denomina cable de 7x19.

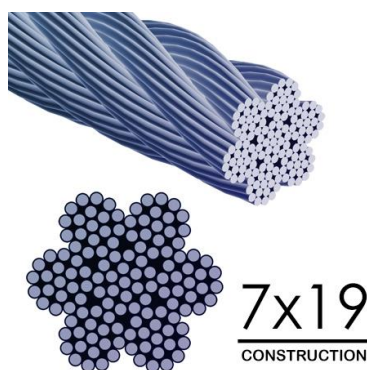


Ilustración 94 - Cable flexible 7X7. Fuente: www.nauticexpo.es

Su elasticidad comparada con los cabos de poliéster es muy pequeña y tiene mejor precio que los cabos de Dyneema.

Como inconveniente presenta un radio de curvatura relativamente grande, de unos 12 milímetros. Esto significa que para que el cable puede ser utilizado para máximo esfuerzo sin peligro de deteriorarse, el radio de la roldana debe ser 12 veces superior al diámetro del cable.

Se puede usar como driza de velas que no se izan ni se arrían frecuentemente, como por ejemplo la driza del génova, de un génova enrollable. Cabe decir que en la actualidad no se usa mucho el cable como jarcia de labor ya que la cabuyería textil ha evolucionado muchísimo.

4.6.6 Cable extra flexible

Está formado por 6+1 cordones de 1+6+12+18 alambres. El diámetro máximo de este tipo de cables es de 8 milímetros.



Ilustración 95 - Cable flexible 19X7. Fuente: www.nauticexpo.es

Su ventaja es su flexibilidad, que permite utilizar roldanas con un radio de curvatura de 8. Como desventaja, los alambres son muy finos y frágiles.

En el pasado se utilizaba para jarcia de labor, cuando no había roldanas de diámetro suficiente para utilizar cable flexible, y especialmente en barcos grandes. En la actualidad no se utiliza mucho.

4.6.7 Textil

No se considera exactamente un cable, pero en algunos veleros de alta competición se sustituyen los cables de la jarcia firme por fibras textiles de alta resistencia, como el PBO¹. Su composición se describe de manera detallada en el siguiente capítulo.



Ilustración 96 - Cable textil de PBO. Fuente: www.nauticexpo.es

Su principal ventaja es su ligereza y presenta una muy buena relación entre resistencia/peso y carga de rotura/peso.

Sus inconvenientes son su elevado precio y la baja durabilidad.

4.6.7 Criterios de elección

Al elegir el tipo de cable para la jarcia firme la resistencia a la rotura es la primera consideración que se tiene en cuenta. Se trata de la carga máxima que el cable puede aguantar sin romperse. Generalmente, la varilla es aproximadamente 20% más fuerte que el alambre del mismo diámetro. En el caso del textil dependerá de la fibra utilizada.

¹ El polibenzobisoxazol (PBO) nombre comercial Zylon.

Se ha elaborado una tabla comparativa para un cable de 8 mm de diámetro.

Tipo de Cable	Material	Carga de rotura (Kg)	Peso (Kg/100 m)	Precio
Varilla	Nitronic	7940	43,40	Elevado
1x19	AISI 316	5302	31,80	Medio
Dyform	AISI 316	6176	36,50	Medio
Clásico 7x7	AISI 316	3676	25,50	Bajo
Flexible 7x19	AISI 316	3395	23,87	Bajo
Extra flexible 19x7	AISI 316	3720	27,50	Bajo
Textil	PBO	5300	5,00	Muy elevado
Textil	Aramida	3000	2,70	Elevado

Tabla 3 - Comparación de tipos de cable. Fuente: propia.

La fatiga es también una consideración importante. El alambre es más sensible a la fatiga debido a que los filamentos individuales rozan entre sí. La varilla, sin embargo, se ve afectada por los daños en la superficie, lo que puede llevar a grietas de fatiga. Cuando el alambre falla por fatiga los filamentos fallan uno por uno y, por lo tanto, es más fácil de detectar y remediar. La varilla, en cambio, falla sin previo aviso y los signos de agrietamiento inicial son casi imposibles de detectar por inspección visual.

El alargamiento aumenta proporcionalmente a la carga y a la longitud, e inversamente a la zona de corte transversal y al módulo de elasticidad. Tiene un gran impacto en la eficiencia global del aparejo. Mientras la carga está dentro de 70% de la carga de rotura máxima no hay deformación plástica. Un alargamiento menor produce un aparejo más recto y rígido.

La resistencia al viento de los obenques y estays aumenta con el aumento de diámetro. La varilla y el textil necesitan un menor diámetro para la misma resistencia que el alambre y además tiene una superficie más lisa, por lo tanto, producen menos resistencia aerodinámica.

En barcos muy regateros el uso del textil es más que adecuado, especialmente en la jarcia del palo, ya que al reducir el peso por encima del centro de gravedad mejora la estabilidad y el adrizamiento del barco, además de conseguir rebajar el peso total del barco. En los barcos de crucero también es interesante utilizar el textil ya que se evitarán ruidos y desgastes aprovechando las características de estos avanzados materiales que poco a poco van a ir sustituyendo algunos elementos en los nuevos barcos.

4.7 Unión entre el terminal y el cable

Hay tres tipos de sistemas para unir el cable con el terminal: prensado, mecánico y varilla.

4.7.1 Terminales prensados

En los terminales prensados, o Swage en inglés, la unión se realiza introduciendo el cable dentro de un eje largo perforado con un diámetro interior similar al del cable para que se pueda introducir el cable que se quiera prensar. Para este tipo de terminales es necesario una máquina de prensar específica.



Ilustración 97 - Terminal prensado. Fuente: propia.

Como se puede ver en la ilustración 98, esta máquina se compone de uno o dos pistones hidráulicos conectados a un vástago que hace girar dos ruedas dentadas simétricas simultáneamente en sentidos contrarios. Encima de cada rueda dentada se coloca una matriz. Cada matriz está compuesta por un cuarto de círculo de unos 5 cm de altura. En su perímetro tiene una hendidura que corresponde a la medida del diámetro exterior del eje del terminal. Por ejemplo, para un cable de 4 mm el diámetro exterior es de 6,35 aproximadamente.



Ilustración 98 - Máquina Wiretechnik prensado un terminal de rosca. Fuente: propia.

Para conectar el terminal a la máquina son necesarios accesorios específicos para cada terminal. A continuación se puede ver las imágenes del prensado de un terminal de cada tipo junto a un croquis de cada accesorio.

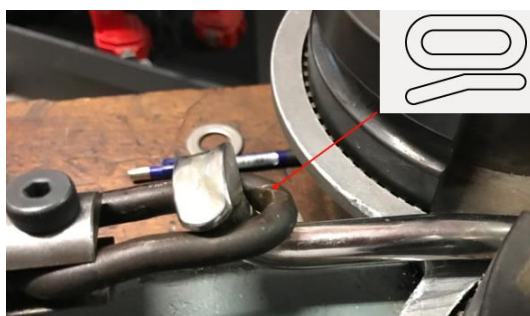


Ilustración 99 - Máquina Wiretechnik prensando un terminal de T. Fuente: Wiretechnik, propia.

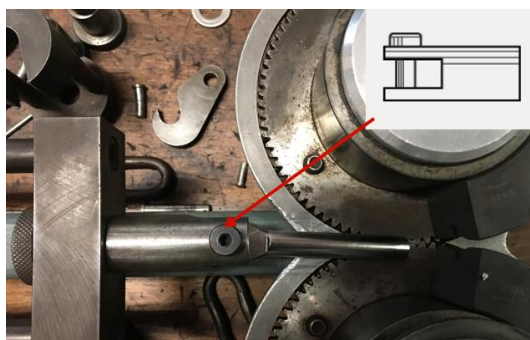


Ilustración 100 - Accesorio para terminal de ojo. Fuente: Wiretechnik, propia.



Ilustración 101 - Accesorio para terminal de horquilla y toggle. Fuente: Wiretechnik, propia.

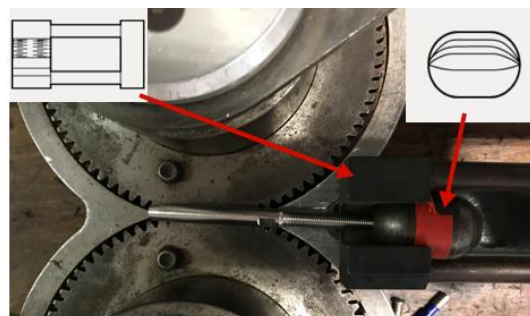


Ilustración 102 - Accesorio para terminal de rosca y bola. Fuente: Wiretechnik, propia.

Una vez colocado el cable con el terminal a prensar, se conecta al accesorio correspondiente, que le une a la máquina y se ajusta la longitud mediante una rueda roscada que está en el interior de un esparrago. Se acciona el pistón hidráulico que arrastra todo el conjunto terminal-cable en la dirección

contraria en la que está al cable, prensando el terminal pasando por el interior de las matrices. El pistón hidráulico puede ser accionado por una bomba manual, eléctrica o neumática.

4.7.2 Terminales mecánicos

Tal como indica la ilustración 104, en los terminales mecánicos o Norseman la unión se realiza por compresión. Están compuestos por tres elementos: el terminal, que está separado por dos partes, una cabeza con contra rosca y un cuerpo con rosca; un cono y una arandela o anillo, que sirve para proteger la contra rosca.



Ilustración 103 - Obenques con terminal mecánico. Fuente: propia.

Para instalar este terminal se siguen los siguientes pasos: se introduce el cuerpo del terminal en el cable, se hace girar el cable en el sentido contrario a la disposición de los alambres del cable (1), consiguiendo abrir el cable para poder introducir el cono dentro del núcleo (2), seguidamente se hace girar el cable en el buen sentido para cerrar el cable y que el cono se quede entre los alambres abiertos y el núcleo (3). Se coloca el anillo en la parte superior del cable y se pone la cabeza del terminal roscándolo (4-5). Es recomendable poner Loctite azul para roscas en la rosca del terminal (6). Finalmente, se debe roscar, apretándolo (7).

Cuando se hace girar el cuerpo del terminal de la contra rosca, los alambres se comprimen sobre el cono, y a medida que se tensa el cable la unión se comprime más.

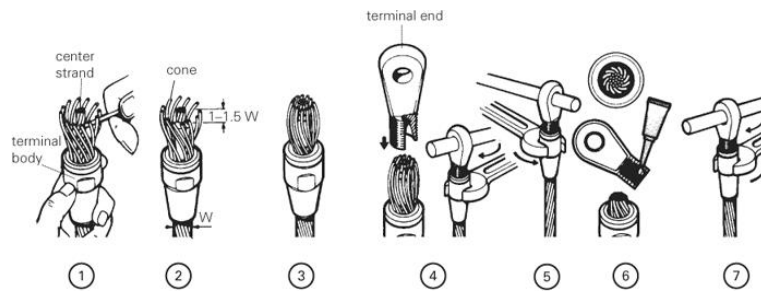


Ilustración 104 - Diagrama de instalación del terminal mecánico. Fuente: Stalok.com



Ilustración 105 - Instalando un terminal mecánico. Fuente: propia.

La característica principal de este tipo de unión entre el terminal y el cable es que no necesita una máquina específica, solo se necesitan herramientas comunes, como alicatas, consiguiendo un terminal resistente y reemplazable en el mar.

En la actualidad este tipo de terminales se usan poco para la jarcia lateral, aunque sí que se utilizan más para el extremo inferior de los estay, sobre todo cuando se lleva enrollador.

4.7.3 Terminales de varilla

Los terminales usados en los cables de varilla son parecidos a los terminales mecánicos. Se compone de tres elementos. El terminal donde se encuentra la rosca, de terminales hay los mismos tipos que los demás. Otro elemento es el de contra rosca y donde se apoyará la seta del cable que se ha hecho con la máquina especial para cables de varilla. Y el último elemento que a veces no es necesario es dos cazoletas cuya función es aumentar la superficie de apoyo dentro de la parte del terminal donde se enrosca.

Como se puede ver en la ilustración 106, para instalar este tipo de terminales, primero se inserta la parte de la contra rosca en el cable, seguidamente se hace la seta en el cable de varilla y por última se enrosca la parte donde está el terminal.



Ilustración 106 - Terminal de ojo para cable de varilla. Fuente: navtec.com

Las cabezas de varilla están hechas por una máquina hidráulica de prensado en frío que utiliza una serie de troqueles, abrazaderas y arietes para presionar una cabeza en la varilla. Las cabezas de las varillas son responsables de evitar que la conexión se resbale. Las barras en sí pueden durar mucho, mucho tiempo. Mucho más que la vida útil esperada del cable. Esto se debe principalmente al tipo de metal utilizado, cómo se trata, y también las características de construcción del cable frente a la de la varilla. Sin embargo, las cabezas frías de varilla son propensas a agrietarse y no deben durar más de 6 años sin ser reparadas.



Ilustración 107 - Obenques de cable de varilla con el termina de rosca para tensor.

4.8 Tensores

La función de los tensores es dar tensión al cable. El material de los tensores es el bronce o acero inoxidable, ambos materiales son muy resistentes a la corrosión.



Ilustración 108 - Partes de un tensor. Fuente: propia.

El tensor se compone por tres elementos: una botella y dos roscas. Normalmente la rosca que viene de abajo será de izquierdas y la rosca que viene de arriba será de derechas. Las roscas pueden tener distintos terminales, dependiendo de lo que se quiera unir, como se amplía en el siguiente apartado. Normalmente la rosca de abajo será un terminal que irá unido a un arraigo.

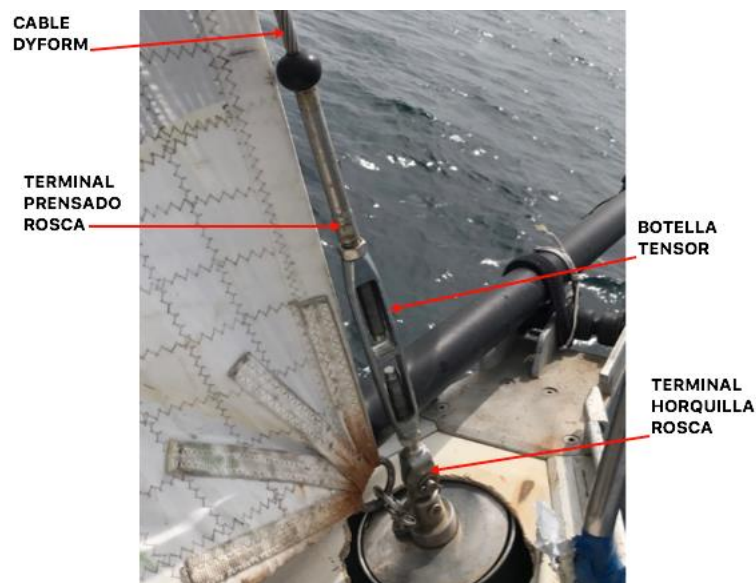


Ilustración 109 - Tensor de cable Dyform diámetro 7 cm de un estay de proa. Fuente: propia.

En cuanto a los materiales, lo recomendable es que la botella del tensor sea de bronce cromado con aluminio y el terminal de rosca sea de acero inoxidable. Si ambos fuesen de acero inoxidable se podrían clavar e impedir el giro.

Como se ha comentado anteriormente, los tensores se pueden encontrar en cubierta en el caso de los V1 y en las crucetas por ejemplo en el caso de los D2.

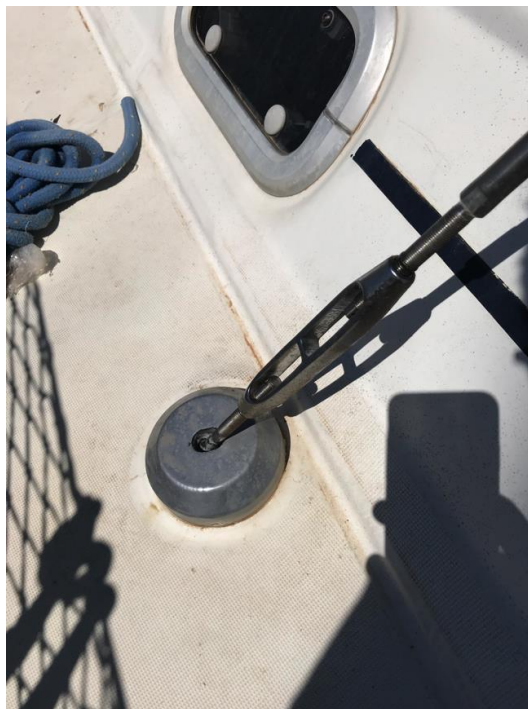


Ilustración 110 - Tensor de un obenquillo proel. Fuente: propia.

Hay distintos tipos de botellas dependiendo del diámetro del cable teniendo una relación directa con el paso de la rosca. Los fabricantes de botellas y terminales trabajan normalmente en paso de rosca UNF. Los pasos usados en los tensores son 1/4", 5/16", 3/8", 7/16", 1/2", 5/8", 3/4", 7/8", 1". La carga de rotura de las botellas va desde 1.300 Kg hasta 21.400 Kg.

4.9 Terminales

Son piezas forjadas de acero inoxidable que sirven para unir el cable al aparejo o al propio barco. Como se ha explicado en el apartado de unión de terminales y cable, hay tres tipos de uniones, pero sea cual sea el tipo de unión, hay distintos tipos de terminales. Los tipos de terminales más comunes son 6: rosca, ojo, horquilla, T, *toggle* y bola. Estos son los necesarios para hacer todo tipo de jarcias firmes. En el diseño de las jarcias se utilizan muchas combinaciones entre los terminales y las roscas.



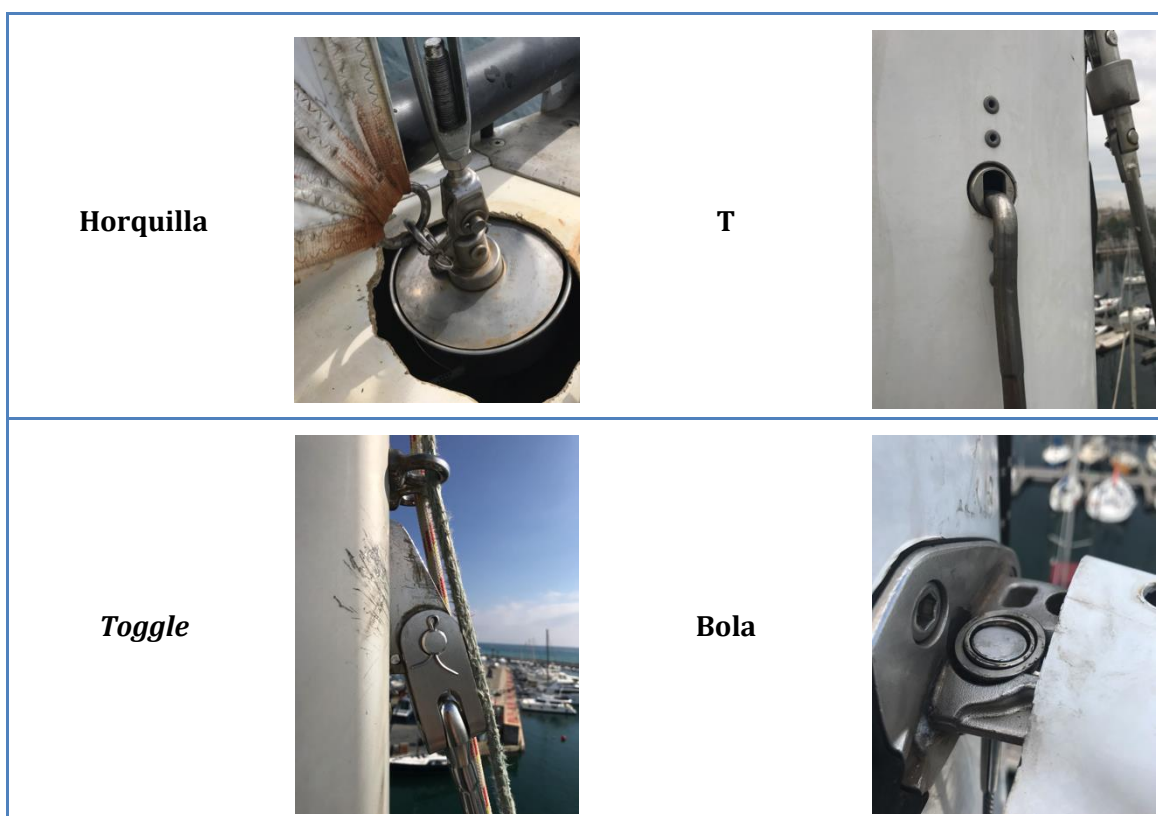


Tabla 4 - Terminales en funcionamiento. Fuente: propia.

4.9.1 Terminal en rosca

También conocido como terminal de esparrago. Normalmente cada paso de rosca tiene dos diámetros de cable para poder ser prensado. Por ejemplo, para cable de 4 mm puede tener un paso de rosca UNF de 1/4" o de 5/16".

El terminal de rosca se suele utilizar en los cables de obenques, estay y back estay que van directos al tensor.

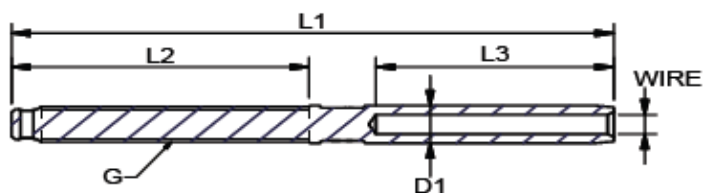


Ilustración 111 - Terminal de rosca. Fuente: Blue Wave.

4.9.2 Terminal en horquilla

Como su nombre indica tiene forma de horquilla. Se utiliza un bulón para unir las dos paredes de la horquilla, ya sea con otro terminal o a un elemento fijo.

Para el diseño y cálculo de la jarcia los fabricantes dan mucha información de las medidas de cada terminal. En el caso del terminal de horquilla estas son las medidas a las que hacen referencia los fabricantes:

- L1: longitud total del terminal siempre des del centro de bulón.
- L2: longitud que entra el cable para ser prensado.
- D: diámetro exterior de la parte donde irá el cable.
- B: distancia des del centro del bulón hasta la curva interior de la horquilla.
- A: distancia de abertura entre paredes interiores de la horquilla.

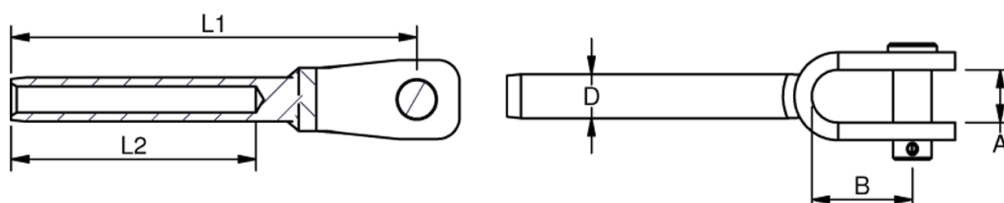


Ilustración 112 - Terminal de horquilla. Fuente: Blue Wave.

Este terminal se utiliza para conectar los obenques con los terminales de crucetas. También son usados para los obenques verticales cuando llegan a la botella y hay una rosca con terminal de ojo.

4.9.3 Terminal en *toggle*

Este terminal es muy similar al terminal de horquilla, pero este tiene la particularidad que es articulado permitiendo un movimiento proa-popa o estribor-babor, dependiendo de cómo este orientado el arraigo.

Este terminal está compuesto por un terminal en ojo más un *toggle* suelto. El bulón que conecta los dos elementos, esta prensado con una prensa.

Este terminal se usa para el estay de proa, tanto para conectar el cable con el palo como para unir el cable con la cubierta. El estay siempre ha de tener libertad de movimiento tanto en sentido proa-popa como estribor-babor.

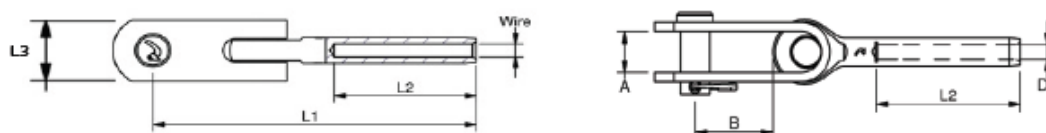


Ilustración 113 - Terminal de *toggle*. Fuente: Blue Wave.

4.9.4 Terminal en ojo

Como su nombre indica es una terminal con un ojo o agujero para pasar un bulón o pasar por algún elemento.

Se utiliza en estays y back estays, normalmente acompañado de un *toggle* y en los obenques altos o diagonales para conectar con el palo cuando en el palo hay platinas, entonces se pone el terminal de ojo entre las dos platinas. También se usa para terminales de cruceta.

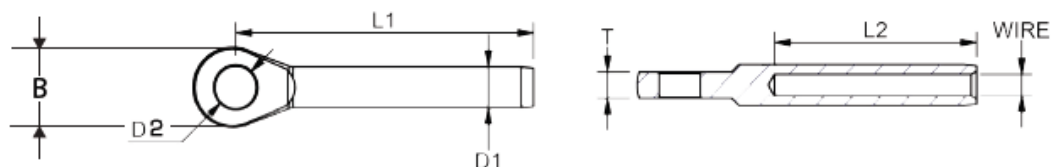


Ilustración 114 - Terminal de ojo. Fuente: Blue Wave.

4.9.5 Terminal en “T”

Se trata de un terminal con forma de gancho con un pequeño ángulo redondeado, y con un tope en la punta hacia los dos lados, por lo que se le da el nombre de “T”.

Hay varios tipos de terminales en función del ángulo de abertura y la anchura del tope, que corresponde a la B indicada en la figura.

Para fijar este terminal al mástil se debe hacer un agujero en el palo e introducir una platina interior, que es donde estará apoyado el terminal dentro del palo. Para introducir el terminal se debe hacer de lado, una vez introducido el tope se gira y queda apoyado.

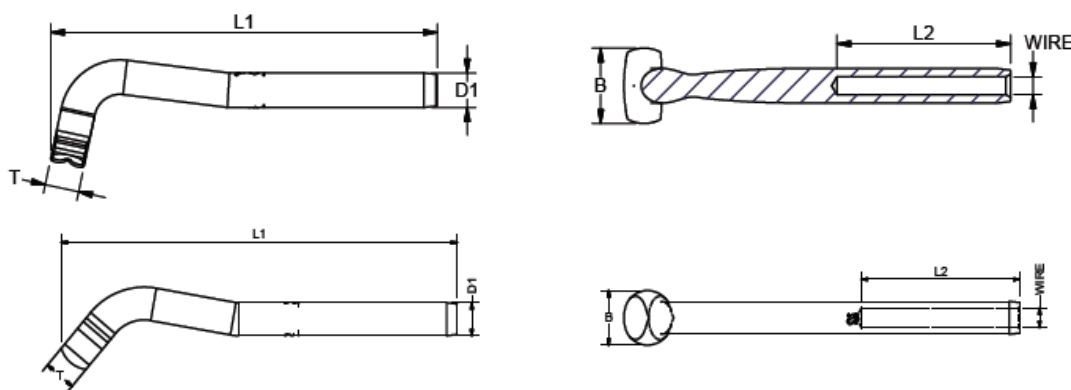


Ilustración 115 - Terminal de “t”. Fuente: Blue Wave.

Se utiliza en los obenques diagonales para unir el cable con el mástil.

4.9.6 Terminal en bola

Es un terminal acabado en forma de copa. Destaca por su libertad de movimiento circular.

Se puede utilizar en toda la jarcia. En la actualidad es uno de los terminales más usados para los obenques laterales, tanto en diagonales como en verticales.

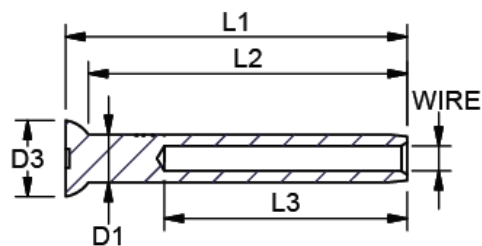


Ilustración 116 - Terminal de bola. Fuente: Blue Wave.

4.10 Accesorios para los terminales

Para el uso de los terminales es necesaria la colocación de determinados accesorios.

Platina "T": Las platinas para el terminal en "T" van colocadas en el interior del palo justo por debajo de las crucetas para los obenques diagonales que suelen ir con terminal en "T".



Ilustración 117 - Platina para terminal de t. Fuente: Blue Wave.

Cada platina es específica para un terminal en "T" en función del ángulo y el ancho del tope, si no fuera la que toca el terminal se podría salir. Hay algunos fabricantes que venden un tapón de plástico que se pone una vez ya está el obenque dentro del agujero justo por encima del terminal hasta tapar el agujero de la platina, para impedir que se salga el terminal.



Ilustración 118 - Platina para terminal de "T" instalada. Fuente: propia.

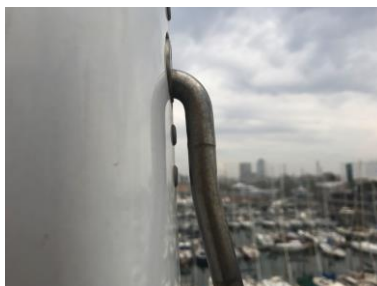


Ilustración 119 - Terminal de "T" en el interior de la platina. Fuente: propia.

Platina de campana: Este elemento está pensado para los terminales de bola y se utiliza cuando los cables no salen de la propia cruceta, la cual suele estar preparada para recibir este tipo de terminales. Esta platina va en el interior del perfil del mástil, previa perforación, y mediante un tornillo queda fijada.



Ilustración 120 - Platina de campana. Fuente: Blue Wave.

Cuando un terminal de bola acaba fijado en una campana, es recomendable colocar una cazoleta en el mismo terminal para que se adapte mejor y evitar el desgaste de la bola.



Ilustración 121 - Obenque alto con terminal de bola en la platina de campana. Fuente: propia.

Toggles: Un *toggle* sirve como articulación para cambiar de sentido, alargar. Normalmente se usa para unir el terminal con el cadenote cuando no hay tensor. Cuando baja directo el cable, se utiliza un *toggle* para poder orientarlo de manera correcta. Hay distintos tipos con diferentes grados de libertad.

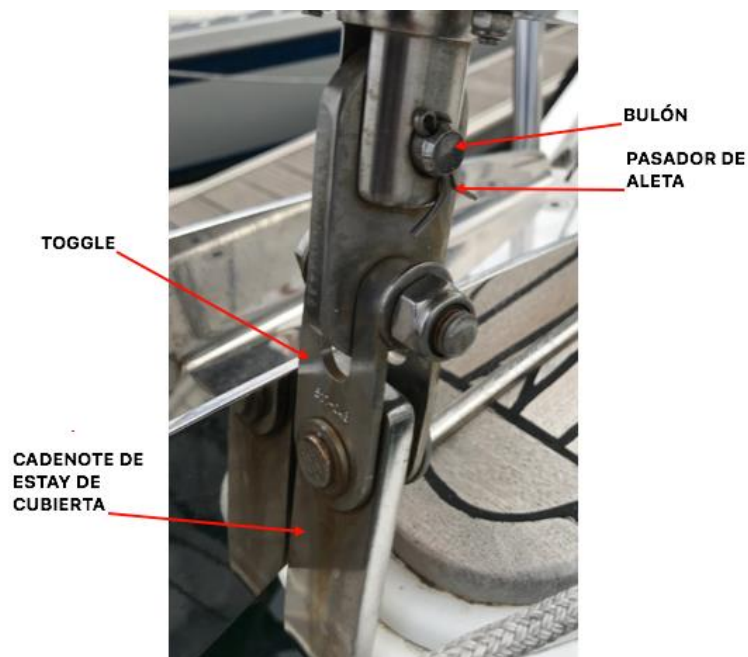


Ilustración 122 - Estay de proa con *toggle*. Fuente: propia.



Ilustración 123 - *Toggle* de dos movimientos. Fuente: Blue Wave.



Ilustración 124 - *Toggle* de un movimiento. Fuente Selden.

Bulones: Es el elemento de unión más utilizado. Sus parámetros de elección son el diámetro y la longitud.

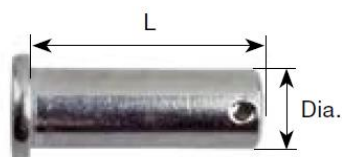


Ilustración 125 - Bulón. Fuente: Selden.

Pasadores: Son los elementos de bloqueo más utilizados tanto para bulones como para roscas. Se distingue entre pasadores de aleta y pasadores de anilla



Ilustración 126 - Pasadores de aleta. Fuente: Selden.

Capítulo 5. Cabuyería

Este capítulo está dividido en seis partes. En la primera, hay una pequeña presentación de los materiales, en la segunda se describe las principales características. En el apartado 5.3 se describen los distintos materiales. Finalmente, se realiza una comparación de las principales características de los materiales y se presentan los distintos sistemas de fabricación. Por otro lado, se describe las distintas funciones que pueden desempeñar los cabos.

5.1 Materiales

En la historia de la navegación los cabos han sido y son absolutamente necesarios. A lo largo de los años, para su confección se han utilizado fibras naturales y fibras sintéticas. Las primeras en utilizarse fueron las fibras naturales, que comprendían fibra de coco, lino, cáñamo, papiro o pieles trenzadas de mamíferos marinos. Estos materiales naturales, con el tiempo, se hinchaban con la humedad, se rompían y se pudrían. Hoy en día, ya no se utilizan las fibras naturales y, en su lugar, se utilizan las fibras sintéticas, de mayor resistencia, mayor vida útil y menor peso. En comparación con el acero, ofrecen resistencias superiores, menor peso y volumen, menor sección y más fácil manejo.

Desde su aparición, las fibras sintéticas se han desarrollado muy rápidamente. Para contextualizar, en 1938 DuPont descubrió la fibra de nylon, en 1941 se desarrolló el primer poliéster y en 1979 DSM solicitó la patente de Dyneema.

Las fibras sintéticas están clasificadas en tres generaciones. El poliéster y la poliamida pertenecen a la primera generación de fibras sintéticas y actualmente se siguen utilizando para la fabricación de cabos.

A la segunda generación pertenecen las llamadas fibras de alto rendimiento, que provienen de la evolución de la primera generación: LCP² (Vectran) viene del poliéster, y varias fibras de aramida (Kevlar, Twaron y Technora) están hechas de poliéster o poliamida.

² LCP: LCP corresponde a las siglas en inglés de Polímero de Cristal Líquido. Se conoce principalmente como Vectran.

La tercera generación es la más nueva e incluye las fibras UHMWPE (Dyneema, Spectra) y PBO (Zylon).

Material	Nombre comercial	Generación
Polypropylene	-	Segunda
UHMWPE	Dyneema o Spectra	Tercera
PBO	Zylon	Tercera
Liquid Crystal Polymer	Vectran	Segunda
Polyester	Dacron o Diolen	Primera
Polyanide	Nylon	Primera
Polyanide	Nylon mojado	Primera
Aramid	Kevlar o Technora	Segunda

Tabla 5 - Materiales, sus nombres comerciales y generación. Fuente: propia.

5.2 Características técnicas

Las principales características técnicas de los cabos son la carga de rotura, la carga de trabajo segura, tenacidad, fluencia, densidad, resistencia a los rayos UV y durabilidad. También se comentarán el estiramiento, el creep o el punto de fusión. En las siguientes páginas se describen cada una de las características técnicas, mientras que al final del apartado hay unas gráficas comparativas de cada una de las características para los materiales descritos.

Carga de rotura (BRL):

La carga de rotura es la máxima fuerza directa que puede soportar un cabo antes de que se rompa cuando este se somete a incrementos sucesivos de la carga durante la prueba en laboratorio. Se expresa en kilo newtons (KN), deca newtons (DaN) o kilogramos (Kg).

Carga de trabajo segura (SWL):

La carga de trabajo segura de un cabo es el límite recomendado para la tensión a la que puede estar sometido. Generalmente, se utiliza como carga de trabajo segura alrededor del 50% de la carga de rotura. En la práctica, sin embargo, este valor no se suele alcanzar ya que el diámetro de los cabos suele estar sobredimensionado y los cabos no llegan a su carga máxima.

Tenacidad:

El concepto de “tenacidad” aplicado en los cabos náuticos expresa la relación entre la carga de rotura y la densidad lineal de las fibras. En el sistema internacional se expresa en N/Tex o cN/dTex.

El Tex es una unidad que expresa la masa lineal de una fibra y se define como la masa expresada en gramos por cada 1.000 metros lineales de fibra. Por consiguiente, un dTex expresa la masa en gramos por cada 10.000 m.

Estiramiento:

Los términos estiramiento y “*stretch*” significan lo mismo y expresan el fenómeno por el que las fibras de un cabo sometidas a tensión se alargan, pero vuelven a su longitud inicial cuando se deja de aplicar la tensión. Este fenómeno se denomina “alargamiento elástico”.

El alargamiento del material, en nuestro caso las fibras, es proporcional al módulo de elasticidad, que indica la resistencia opuesta por la fibra al alargamiento. Cuánto más alto es el valor del módulo, menor será el alargamiento.

Se expresa a menudo como un porcentaje, medido en referencia a una carga particular (por ejemplo, tanto por ciento de la carga de rotura).

Las propiedades del estiramiento están determinadas por el material y la construcción del cabo, por ejemplo, la forma como se haya trenzado un cabo afecta al estiramiento.

Creep Stretch o Fluencia:

La fluencia (*Creep*) es una propiedad mecánica de las fibras que componen el cabo y que expresa el alargamiento que sufre el cabo al someterse a una carga constante durante un tiempo determinado.

Esta deformación depende del peso sostenido, el tiempo de aplicación de la carga y la temperatura. Cuanto más alta es la temperatura a la que se somete el cabo, mayor será el alargamiento del cabo.

En el ensayo de tracción, un cabo se somete a una carga constante durante un tiempo determinado. Debido a esta carga el cabo se va deformando, distinguiéndose dos zonas de deformación: elástica y plástica, separadas por un punto, que recibe el nombre de límite de fluencia o límite elástico. Hasta el punto de fluencia, el material se comporta elásticamente, siguiendo la ley de Hooke.

Tal como muestra la ilustración 27, el límite de fluencia es el punto donde comienza el fenómeno conocido como fluencia, a partir del cual sólo se recuperará la parte de su deformación correspondiente a la deformación elástica, quedando una deformación irreversible.

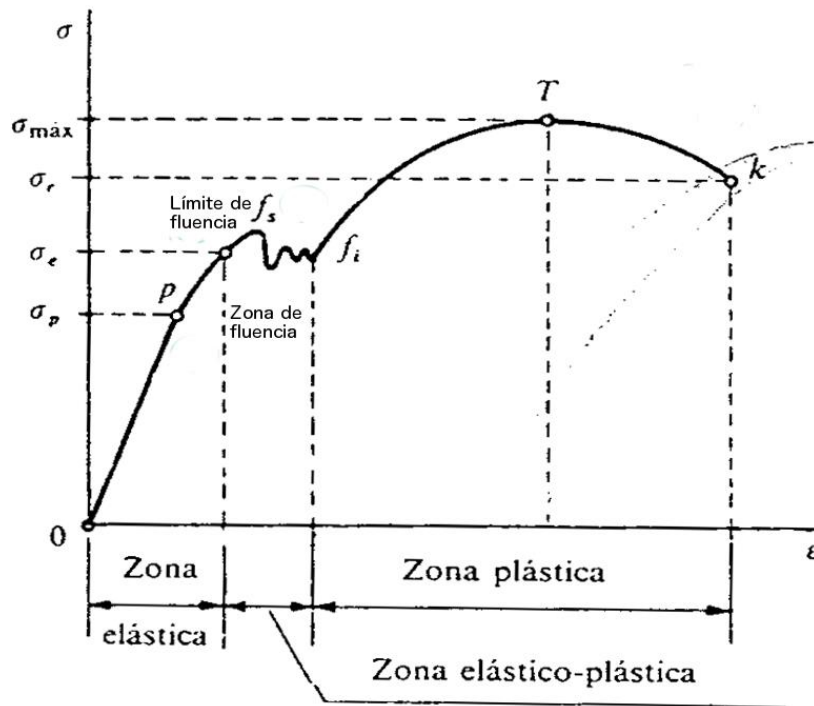


Ilustración 127 - Diagrama de tracción. Fuente: Wikipedia.

Punto de fusión:

El punto de fusión es la temperatura a la cual se encuentra el equilibrio de fases sólido-líquido, es decir, la materia pasa de estado sólido a estado líquido, se funde. Se expresa en grados centígrados.

Densidad:

La densidad o peso específico hace referencia al peso del cuerpo por unidad de volumen. Cuando es inferior a uno significa que tiene flotabilidad positiva, mientras que si el valor es superior a uno, no flota. Se expresa en Kg/dm³.

Resistencia a los rayos UV:

La exposición a los rayos UV puede debilitar el cabo y, por lo tanto, comprometer su resistencia y su durabilidad.

En las gráficas que se verán más adelante, en apartado 5.4, los valores de resistencia UV se han representado con números del 1 al 5, partiendo de que 1 es muy poco resistente y 5 muy resistente.

Durabilidad:

La durabilidad es la resistencia de un material de permanecer inalterable al paso del tiempo. Es una característica que se ve afectada por los efectos de los agentes atmosféricos, como los rayos UV.

También se ha representado con valores del 1 al 5, partiendo de que 1 muestra una durabilidad baja y 5 muy alta.

5.3 Fibras

5.2.1 Poliéster

El poliéster es una estructura química de la cual se extrae, después de fundirlo, un filamento único que da nombre al material. En el mercado se puede encontrar también bajo nombres comerciales como Dacron o Diolen.



Ilustración 128 - Poliéster. Fuente: Marlow.

En cuanto a sus características técnicas destaca por su alta resistencia y su bajo coste. Los cabos de poliéster no flotan y son resistentes a la luz solar y las fibras no se ven afectadas por bacterias y moho.

Las fibras de poliéster están disponibles en varios grados de resistencia en función de su sistema de fabricación y acabado.

Respecto a las fibras de poliéster se puede distinguir entre las fibras de alta tenacidad (HT), en las que los filamentos pueden ser de kilómetros de longitud, y las fibras de baja tenacidad, en las que los filamentos tienen sólo unos centímetros de longitud. Estos dos tipos de acabado se pueden distinguir visualmente cortando el alma del cabo y viendo cómo se separan los distintos filamentos. En HT serán filamentos compactos y en el LT se separan muy fácilmente deshaciéndose con un efecto lanoso.

Dadas sus características tiene una alta funcionalidad.

El poliéster HT se utiliza tanto para almas como para fundas. Aunque hay que destacar que se utiliza como alma en los cabos que no necesitan tan buenas prestaciones de resistencia al estiramiento y carga de rotura. La funda de poliéster es muy usada en fundas mezcladas con fibras de alta tenacidad, como la Dyneema y la Technora.

El poliéster LT se suele utilizar en cabos de baja gamma para la elaboración de las almas.

También es muy usado para amarras ya que a grandes diámetros es muy resistente y económica comparado con los cabos de alta tenacidad a mismo diámetro.

Su inconveniente es su capacidad de estiramiento, relativamente alta comparada con otras fibras de alto módulo como la Dyneema, aunque es menor que la de otras fibras como la poliamida o el polipropileno.

5.2.2 Poliamida

La poliamida es más conocida bajo su nombre de marca Nylon. Derivado del carbón, presenta una resistencia algo menor que el poliéster, menor densidad (1,18) y un porcentaje de alargamiento similar al polipropileno (12%).

Es fuerte pero flexible y tiene un alto grado de estiramiento, no flota y es muy resistente a los rayos UV. Retiene el agua aumentando su estiramiento y disminuyendo su fuerza cuando de moja.

Su uso es habitual en amarras, líneas de fondeo, remolque y cinchas, ya que absorbe tirones y no flota. Es bastante elástico y retiene agua al mojarse aumentando su peso.

Dentro de las poliamidas, la trenzada es la más utilizada dando como resultado un nylon elástico, resistente a tracciones duras y al mismo tiempo flexible.

5.2.3 Polipropileno

El polipropileno (también llamado polipropeno o PP) es una fibra sintética con moderada resistencia al desgaste y baja durabilidad.



Ilustración 129 - Polipropileno. Fuente: Marlow.

El polipropileno es tan ligero que flota, pero no absorbe agua. No es tan fuerte como la poliamida o el poliéster teniendo un menor coste. La calidad puede variar muy significativamente. La resistencia y el precio son menores si el polipropileno no ha sido sometido a tratamiento UV. El polipropileno se utiliza principalmente para las líneas de amarre, pero también se puede utilizar como relleno ligero en el alma de los cabos.

5.2.4 UHMWPE (Dyneema, Spectra)

El UHMWPE (Ultra High Molecular Weight Polyethylene) es el término químico del material más conocido como Dyneema, que también recibe el nombre de HMPE (High Modulus Polyethylene). Dyneema es el nombre comercial de la marca de DSM que está en el mercado desde 1990. Honeywell produce una fibra similar bajo el nombre de Spectra.



Ilustración 130 - Dyneema. Fuente: Marlow.

La Dyneema es una fibra basada en polietileno de peso molecular muy alto. Las moléculas extremadamente largas de Dyneema le dan una alta resistencia siendo capaz de soportar 15 veces la tensión del acero o 4 veces la de la mejor fibra de aramida, siempre a igualdad de peso. Es tan liviana

que flota en el agua, soporta muy bien el paso del tiempo y aguanta la humedad y los rayos ultravioletas.

Ya han aparecido diferentes versiones cada vez mejores y con mayores cargas de rotura, como el actual DM 20 utilizado para drizas o incluso para partes de la jarcia fija. El Dyneema SK99 mejora un 7% a su predecesor Dyneema SK90 y es un 20% mejor al anterior Dyneema SK75 o SK78.

Como ventajas destacan su ligereza y que es altamente resistente. Por estas razones actualmente se está utilizando mucho, sobre todo en los barcos de regata, en los que el peso es un asunto delicado, especialmente en las alturas.

Una de las desventajas es su bajo punto de fusión. El hecho que le impide soportar altas temperaturas de manera constante. Como se verá más adelante las fibras de Dyneema se suelen utilizar para fabricar las almas de los cabos, que van envueltas con una funda que suele ser de otros materiales con un punto de fusión más elevado. De esta manera el cabo puede soportar más altas temperaturas de manera puntual.

La diferencia de calidad entre las cuerdas de Dyneema está determinada principalmente por la cantidad de hilos de Dyneema en una cuerda. En los cabos más baratos, las fibras de Dyneema se mezclan con otros materiales, por ejemplo, polipropileno, y también puede haber una cubierta interior adicional hecha de poliéster.

5.2.5 LCP (Vectran)

LCP corresponde a las siglas en inglés de Polímero de Cristal Líquido. Se conoce principalmente como Vectran.



Ilustración 131 - Vectran. Fuente: Marlow.

Una de las grandes ventajas del Vectran es que muestra un poco menos de estiramiento que la Dyneema, aunque tiene algo menos de resistencia. Es poco resistente a los rayos UV, por lo que se suele utilizar como alma protegida por una funda de otro material. No es un material muy utilizado ya que es muy similar a la Dyneema.

5.2.6 PBO (Zylon)

El polibenzobisoxazol (PBO) se vende a menudo bajo la marca Zylon.



Ilustración 132 - PBO. Fuente: Marlow.

Es el material que presenta menos estiramiento y una gran resistencia a la rotura. Es vulnerable a los productos químicos y su principal desventaja es su alta sensibilidad a los rayos UV, una fibra de PBO que está expuesta a UV durante 24 horas perderá el 50% de su carga de rotura. Esta es la razón por la que el PBO siempre tiene que tener una funda.

El PBO no se utiliza mucho como jarcia de labor, pero si se utiliza a menudo en aparejos de jarcias firmes y back estays en barcos de regata.

5.2.6 Aramida (Kevlar, Technora)

Las fibras de aramida a menudo se venden bajo los nombres comerciales Kevlar y Technora.



Ilustración 133 - Technora. Fuente: Marlow.

La aramida es una fibra fuerte con muy poco estiramiento y buena resistencia a altas temperaturas. Las fibras de aramida conservan su fuerza y forma hasta alrededor de 270 °C, mientras que las fibras de Dyneema sólo hasta 70 °C.

Su desventaja es que se ve muy afectada cuando trabaja en ángulos pequeños, como por ejemplo en las escotas de génova o mayor, lo que compromete su durabilidad.

Hasta la década de 1990 había muchos cabos con alma de aramida, actualmente se ha impuesto la Dyneema ya que es más ligera y más resistente a los daños.

Debido a su alta resistencia al calor, la aramida actualmente se utiliza principalmente para las fundas. En los barcos de competición extremos (como un RC44) la fricción en los winches es muy alta.

5.4 Comparación

Cada material tiene sus ventajas, así como sus desventajas, haciendo que cada uno sea adecuado para una variedad de usos. Las diferencias más importantes son la carga de rotura, el desgaste, la resistencia a los rayos UV y el estiramiento. Aunque las características técnicas de cada material difieren dependiendo de la calidad del mismo, su tratamiento y el método de fabricación.

Como se puede ver en la gráfica de la tabla 6, el material que puede soportar más fuerza antes de romper es el zylon seguido del Dyneema o Spectra, y el Vectran con valores muy parecidos entre ellos. Hay una gran diferencia entre el resto de los materiales que tienen una carga de rotura similar, cuatro veces inferior al zylon.

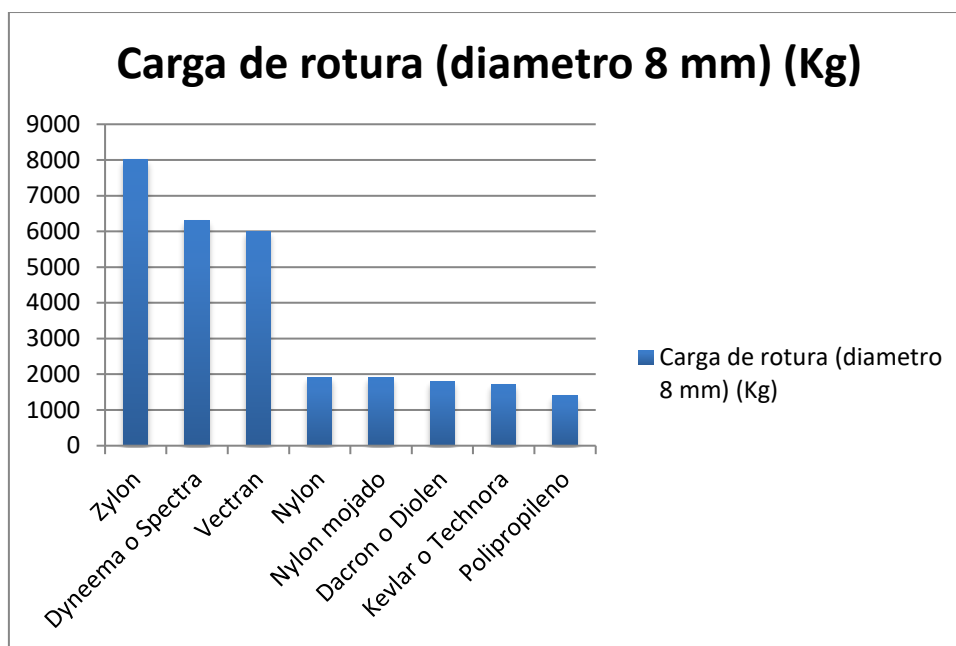


Tabla 6 - Carga de rotura. Fuente: propia.

En cuanto al estiramiento, que tiene que ver con la elasticidad del material, el Zylon, el Kevlar, el Vectran y la Dynnema tienen unos valores similares que están por debajo del 5%. El Dacron, Nylon y el Polipropileno tienen mayor elasticidad con valores que van desde el 12% al 18% con la particularidad que el nylon mojado aumenta significativamente su elasticidad.

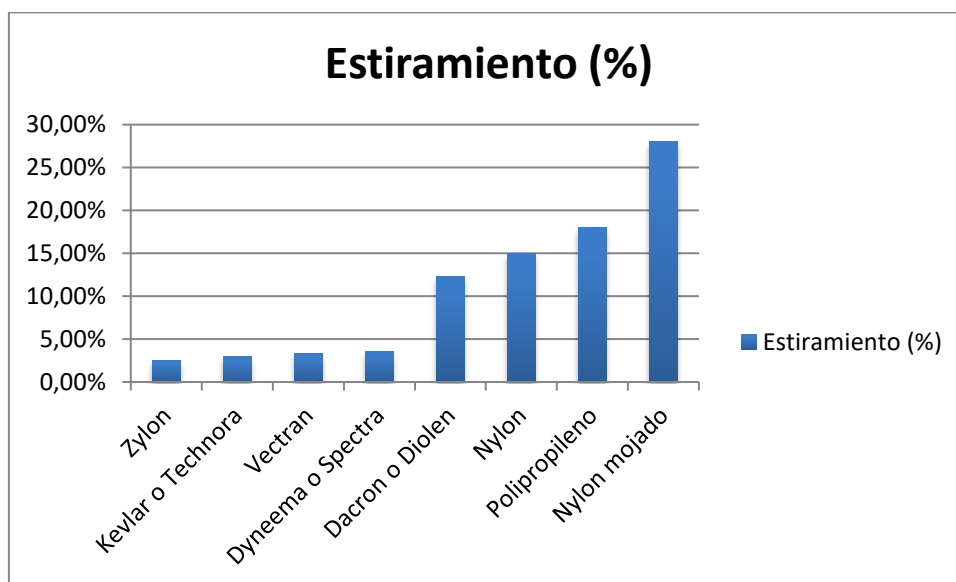


Tabla 7 - Estiramiento. Fuente: propia.

El Zylon, como se ha visto hasta ahora, presenta muy buenas características. Respecto al grado de fusión esta 100 °C por encima del Kevlar o Tecnhora.

Se observa que el Dyneema o Spectra es el que tiene el grado de fusión más bajo. Este dato es importante ya que a pesar de las buenas características de este material su bajo grado de fusión hace

que, cuando trabaja en constante rozamiento, sea necesaria una funda de otro material más resistente para aumentar su resistencia térmica.

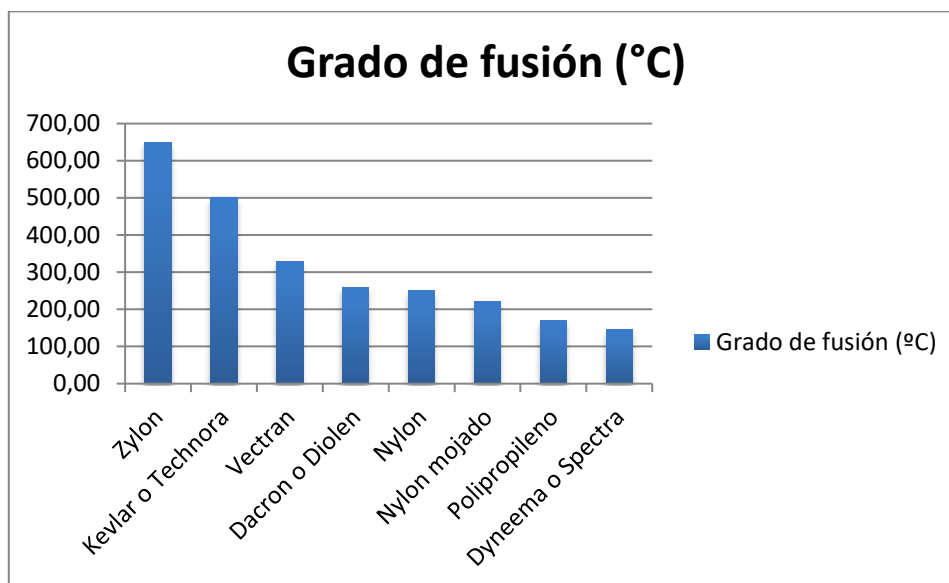


Tabla 8 - Grado de fusión. Fuente: propia.

En esta gráfica se puede observar que el polipropileno tiene flotabilidad positiva. El resto de los materiales no flotan y tiene valores de peso similares.

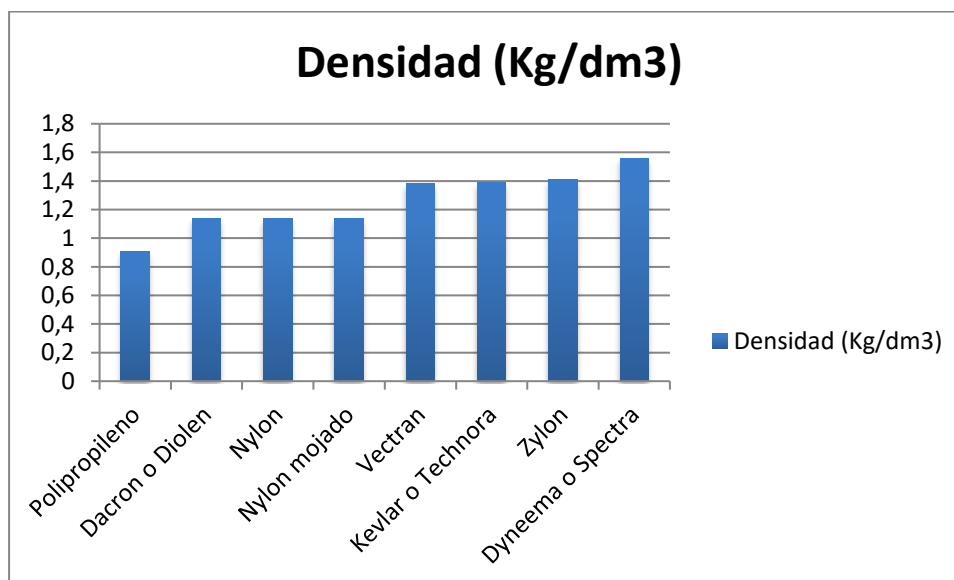


Tabla 9 - Densidad. Fuente: propia.

La resistencia a los rayos UV va directamente relacionada con la durabilidad de los mismos. El Zylon es el material que tiene menor resistencia a los rayos UV y menor durabilidad, se trata de un material que utilizada para la alta competición teniendo en cuenta sus buenas características a pesar de su baja durabilidad en este ámbito no influye tanto este último factor.

Estas gráficas, tabla 10 y 11, que se ven a continuación, permiten comprender porque la mayoría de las fundas de los cabos que hay en las cubiertas de los veleros son de Dacron (poliéster) y de Dyneema debido a su alta durabilidad que en parte viene dada por su resistencia a los rayos UV.

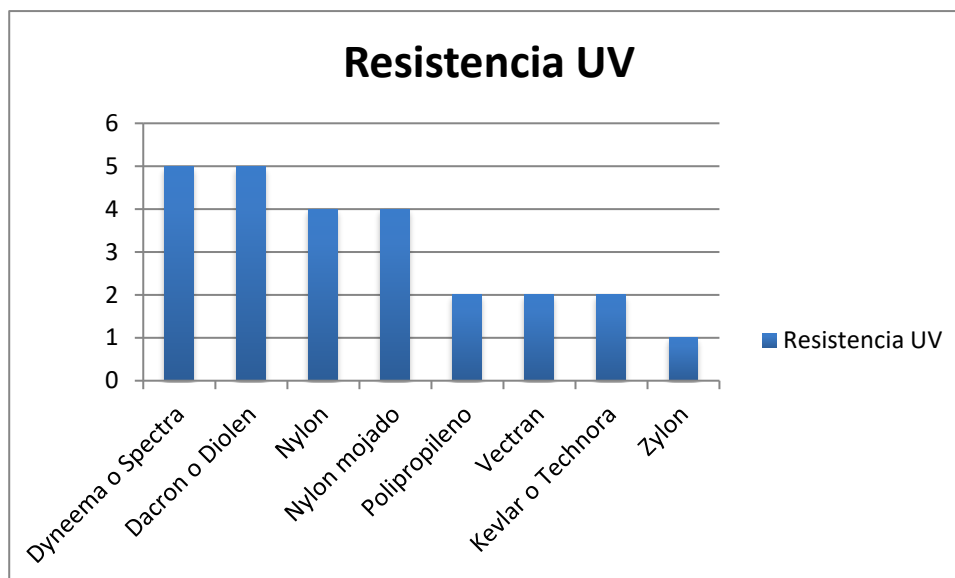


Tabla 10 - Resistencia a los rayos UV. Fuente: propia.

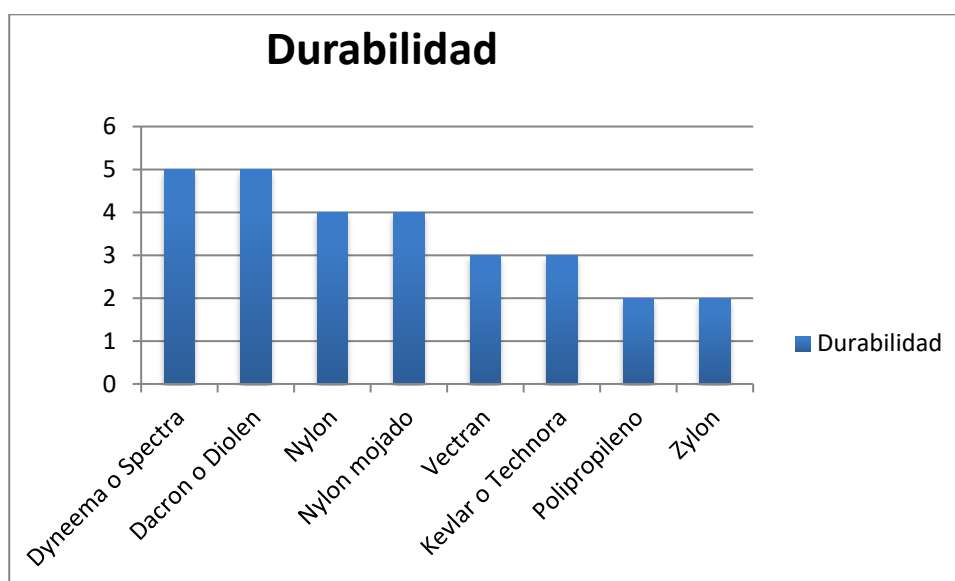


Tabla 11 - Durabilidad. Fuente: propia.

Como se ha indicado anteriormente, las dos últimas tablas están representadas con valores que van del 0 al 5, siendo el 5 el valor de mayor resistencia y durabilidad.

5.3 Sistemas de fabricación

La construcción de un cabo también determina su característica técnica tanto en los aspectos de esfuerzo, como de estética y durabilidad.

Los cabos pueden estar compuestos por uno o dos componentes: un alma o núcleo, o una funda o envolvente. De esta manera, el cabo puede estar formado simplemente por un alma, por un alma y una funda o simplemente por una funda.

Para la elaboración de los cabos se parte de un hilo formado por fibras del material elegido. A partir del hilo o de un conjunto de ellos se forman los usos o menas, que a su vez junto a otros husos forman los cabos.

- **Monofilamentos:** Conjunto de fibras gruesas (\varnothing 0,3mm) en paralelo se utilizan en el proceso de trenzado.
- **Multifilamentos:** Gran cantidad de fibras muy finas (\varnothing 0,001mm) que se unen en el proceso de trenzado en los cabos náuticos.
- **Fibras texturizadas:** Las fibras no están dispuestas en paralelo sino al azar, de este modo se obtiene una superficie áspera.

Los dos sistemas principales de elaboración de cabos son el retorcido (*twisted*) y el trenzado (*braided*).

Los cabos retorcidos están compuestos por un número de hilos retorcidos juntos. El cabo retorcido más común es el de tres hilos.



Ilustración 134 - Cabo retorcido de tres hilos. Fuente: Splicing modern ropes.

También se elaboran cabos retorcidos de ocho hilos, en los que dos pares de hilos se tuercen en el sentido horario y dos pares se tuercen en sentido antihorario.



Ilustración 135 - Cabo retorcido de ocho hilos. Fuente: Splicing modern ropes.

Este tipo de cabos se utilizan principalmente como cabos de amarre y cabos de anclaje y también como escotas y drizas en barcos clásicos.

El otro sistema de elaboración de cabos es el trenzado, en el que se utilizan un número par de hilos o husos. Con el sistema trenzado se elaboran tanto almas como fundas.

Actualmente en los cabos de alta gama se utiliza como alma un simple trenzado de doce husos de Dyneema. A continuación, en la ilustración 136, se muestra una imagen de un cabo de simple trenzado.

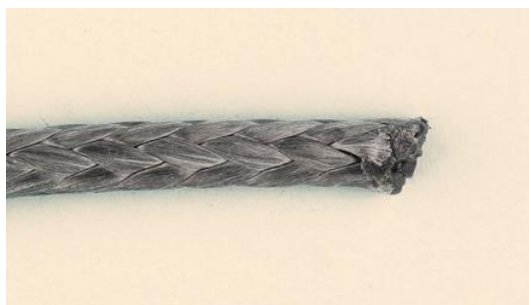


Ilustración 136 - Cabo simple trenzado de 12 husos de Dyneema. Fuente: Splicing modern ropes.

Dependiendo de cómo sea el trenzado es más sencillo trabajar con los cabos, ya sea para empalmarlos entre sí o hacer gazas (splicing). De esta forma el mismo cabo puede aumentar su funcionalidad.

Otro ejemplo de simple trenzado es una funda de poliéster que en ocasiones se utiliza como cabo, sin alma, que también recibe el nombre de trenzado hueco o de Swiftcord. Este tipo de cabos tienen un gran agarre, y se suelen utilizar en los barcos de vela ligera en las escotas.



Ilustración 137 - Cabo simple trenzado de poliéster. Fuente: Splicing modern ropes.

En muchas ocasiones en la elaboración de cabos se usa una combinación de ambos métodos, por ejemplo, el trenzado se elabora con husos que pueden estar compuestos por varias hebras que a su vez están formadas por hilos retorcidos o dispuestos paralelamente.

Como se puede ver en la ilustración 137, cada huso está formado por cuatro hebras que a su vez pueden estar formados por un conjunto de hilos.

Recibe el nombre de doble trenzado un cabo que está compuesto por un alma trenzada cubierta por una funda trenzada. La funda normalmente es de poliéster con un alma que varía en términos de material. El hecho de proteger el alma con una funda sirve para aumentar la resistencia, proteger las fibras de alta resistencia de su interior, aumentando la resistencia a los rayos UV, la capacidad de agarre y la durabilidad del cabo.

Cuanto más espacio hay entre el alma y la funda, más fácil es empalmar los cabos. fibras de alto rendimiento, como el Dyneema.



Ilustración 138 - Cabo de doble trenzado con alma y funda de poliéster. Fuente: Splicing modern ropes.



Ilustración 139 - Cabo de doble trenzado con alma de Dyneema y funda de poliéster. Fuente: Splicing modern ropes.

Al ser la Dyneema un material muy resistente, para cumplir los requisitos y especificaciones técnicas es necesario un grueso muy inferior comparado con el poliéster.

En ocasiones es necesario usar cabos de triple trenzado para alcanzar el espesor necesario, aunque en muchas ocasiones este cabo de triple trenzado se pela en las zonas en las que no es necesario dicho grueso para reducir el peso.

Está cubierta intermedia se utiliza como relleno. Este sistema no se utiliza mucho actualmente se desecha una gran parte del material del cabo original.



Ilustración 140 - Cabo de triple trenzado con funda exterior, funda interior y alma de poliéster. Fuente: Splicing modern ropes.

Actualmente, se suele utilizar cabos de doble trenzado a los que se les añade una funda de Technora o Dyneema en aquellas zonas en las que es necesario o un refuerzo o un mayor grueso, como pueden ser en los *stopper*, poleas, roldanas de tope de palo, winches.

Incluso en los barcos de competición se suele quitar la funda del tramo que no llegan a ninguna zona de rozamiento.

Otro tipo de cabo es el que está compuesto por un alma de poliéster compuesta por tres husos retorcidos o por fibras paralelas.

Este tipo de cabos tienen un menor estiramiento que los cabos de doble trenzado de poliéster, ya que las fibras de la alama están en línea con la dirección de la carga del esfuerzo, por lo que se reduce su estiramiento. Aunque como desventaja al estar tan estirados están más cerca del punto de rotura teniendo así una menor resistencia.



Ilustración 141 - Cabo con alma retorcida de 3 husos y funda trenzada. Fuente: Splicing modern ropes.

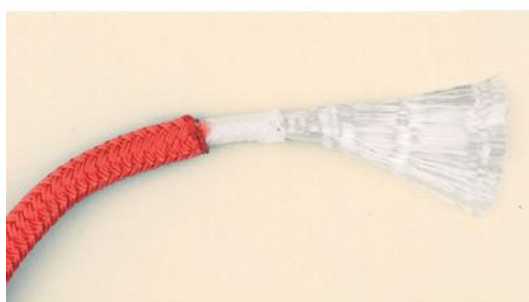


Ilustración 142 - Cabo con alma compuesta de fibras paralelas y funda trenzada. Fuente: Splicing modern ropes.

Las características de un cabo se determinan en gran medida por las fibras utilizadas y la construcción, pero los fabricantes también aplican una serie de tratamientos adicionales.

Las fibras de Dyneema se tratan a menudo con un revestimiento (*coating*) para fijarlas y compactarlas. Este tratamiento hace que aumente su durabilidad cuando el Dynnema este sin funda, aumentando su resistencia a los rayos UV.

Los cabos pre estirados son aquellos que han sido estirados durante su fabricación, o una vez trenzados. Lo que se consigue con el pre estirado es reducir significativamente el estirado total del cabo.

El pre estirado para fibras de alto rendimiento como el Dyneema se suele realizar a altas temperaturas, como resultado las fibras se comprimen y se orientan mejor en la dirección de la tracción, aumentando la resistencia del cabo y su rigidez, y reduciendo su estiramiento.

También hay cabos anti-torsión, que se utilizan en los sistemas de enrollado de velas de proa portantes. Su construcción garantiza una tracción igual a lo largo de toda la longitud de la grátil o estay.

5.5 Drizas

Una driza debe cumplir dos requisitos: estirarse muy poco y ser resistente. Al soportar el mayor esfuerzo de manera estática, cuando la vela está izada, es importante que la driza no se estire para mantener la posición adecuada de las velas. Por otro lado, debe ser suficiente resistente para soportar la carga de la vela cuando trabaja a máximo rendimiento.

Es recomendable que sea ligera para no sobrecargar la parte alta del barco y delgada para no exponer demasiada superficie al viento.

El cabo de la driza debe estar compuesto por un alma y una funda. Para realizar su función correctamente se necesita que el alma sea resistente (poco elástica) y la funda exterior disponga de un buen *grip*, sobre todo en la zona del *stopper*, para conseguir un buen agarre.

En el caso de los barcos con programa de navegación de crucero, todas las drizas están compuestas por una alma y la funda de poliéster u otras fibras de más baja rendimiento y su sistema de fabricación puede ser o bien de doble trenzado o bien de alma retorcida con funda trenzada.

En veleros de crucero-regata la driza de mayor y génova son de doble trenzado con un alma de Dyneema y una funda de poliéster. Mientras que la driza de spi y el amantillo, son de doble trenzado y suelen tener el alma y la funda de poliéster.

En los barcos de regata, las drizas son de doble trenzado con alma de Dyneema y funda de poliéster que suele estar mezclada con otras fibras de alto rendimiento, como Dyneema y/o Technora aportando mayor agarre. Para aligerar las drizas se saca la funda del tramo que va dentro del mástil cuando la vela está izada, el tramo que está en el interior del palo está pelado, sin funda, solamente con el alma, mientras que el tramo situado en el exterior, que sufre rozamientos, está compuesto por el alma y la funda. De esta manera el cabo tiene dos diámetros distintos.

Es recomendable reforzar el tramo del primer metro a partir del grillete con una funda para proteger del rozamiento.

En cuanto a la longitud y al diámetro vienen determinados por la eslora y las medidas del barco. En general, las drizas de un aparejo a tope de palo suelen tener una longitud igual a 2.5 veces la longitud del mástil. En aparejos fraccionados la longitud de la mayor es la misma mientras que la de génova y spi son algo más reducidas. Normalmente se calculan doblando la longitud del mástil.

Los fabricantes de cabos hacen tablas orientativas como la siguiente para elegir el diámetro de las drizas y de las escotas según la eslora del barco.

Eslora LOA	Diámetro de las drizas (mm)		
	Mayor	Génova	Spi
6-8 m (20-26 ft)	8	8	8
8-9 m (26-30 ft)	8-10	8-10	8
9-10 m (30-33 ft)	10	10	10
10-11 m (33-36 ft)	10	10	10
11-12 m (36-40 ft)	10-12	10-12	10
12-14 m (40-46 ft)	12	12	12
14-16 m (46-53 ft)	12-14	12-14	12-14
16-18 m (53-59 ft)	14-16	14-16	14

Tabla 12 - Diámetro de las drizas según la eslora del barco. Fuente: propia.

En muchas ocasiones el diámetro de los cabos es superior al adecuado para resistir el esfuerzo ya que se necesita un mayor espesor para poder trabajar correctamente con los elementos de *hardware* como los winches o *stopper* que están sobre dimensionados.

5.6 Maniobra

Se entiende por maniobra el conjunto de cabos que permiten ajustar una vela. Con respecto a la cabuyería es importante tener en cuenta la eslora del barco y el programa de navegación.

Las características requeridas de las escotas son:

- Deben ser poco elásticas, pero sobre todo es importante que se puedan manipular fácilmente sin hacernos daño.
- Deben ser cabos con alama trenzada dentro de una funda.
- De un diámetro adecuado, ya que están sometidas a grandes esfuerzos, además en muchos casos se sujetan con las manos.
- La funda debe ser resistente para poder resistir al desgaste, estos se deslizan a lo largo del barco, rozando por los obenques, palos, y winches.

A continuación, se muestra una tabla orientativa del diámetro de las escotas de mayor, Génova y spi según la eslora del barco.

Eslora LOA	Diámetro de las escotas (mm)		
	Mayor	Génova	Spi
6-8 m (20-26 ft)	8	8	8
8-9 m (26-30 ft)	10	10	8
9-10 m (30-33 ft)	10	10	10
10-11 m (33-36 ft)	10	10-12	10
11-12 m (36-40 ft)	10-12	12	10
12-14 m (40-46 ft)	12	12-14	12
14-16 m (46-53 ft)	12-14	14-16	12-14
16-18 m (53-59 ft)	14-16	16	14-16

Tabla 13 - Diámetro de las escotas según la eslora.

En un barco, aunque las escotas fueran delgadas aguantarían lo suficiente, pero sin embargo se utilizan cabos de al menos ocho o diez milímetros de diámetro.

Capítulo 6. Hardware

El hardware es el conjunto de elementos que forman parte del barco con la función principal de reducir esfuerzos y facilitar el ajuste de las velas.

Las empresas dedicadas a la fabricación y venta de estos productos suelen clasificar el hardware según corresponde a hardware de cubierta o de trimaje de velas.

Se trata de un tema muy amplio, y en este capítulo se describen los elementos más utilizados. Cada uno de estos elementos, en combinación con otros, puede tener múltiples aplicaciones, pero los elementos utilizados siguen siendo los mismos.

También forman parte de hardware los enrolladores y sistemas de almacenado, que se describen en el apartado 6.2.



Tabla 14 - Elementos del hardware. Fuente: Propia.

6.1 Elementos

Una polea es un dispositivo mecánico de tracción que sirve para transmitir una fuerza, con el objetivo de reducir el esfuerzo de cabos que provienen de otro elemento del barco. Una polea que se puede abrir para pasar por ella un cabo que ya esté trabajando es una pasteca.

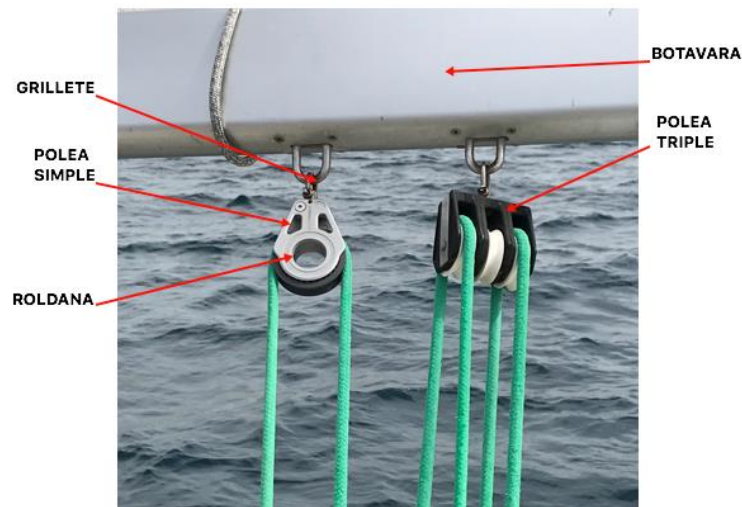


Ilustración 143 - Sistema de escota de mayor. Fuente: propia.

Otro elemento que desmultiplica la tracción de los cabos es el winche, un elemento en forma de tambor con engranajes en su interior. Un winche, además, puede disponer de un elemento de fijación en la parte superior, que recibe el nombre de *self*. El cabo siempre debe estar dispuesto a su alrededor en sentido horario. Las manetas son las manivelas a través de las cuales se da tensión al winche y por consiguiente al cabo montado sobre él.



Ilustración 144 - Winche. Fuente: propia.

Recibe el nombre de grillete el elemento metálico con pasador en rosca, de múltiples usos que generalmente permite unir un cabo con otro elemento de la embarcación. Actualmente también existen grilletes textiles.

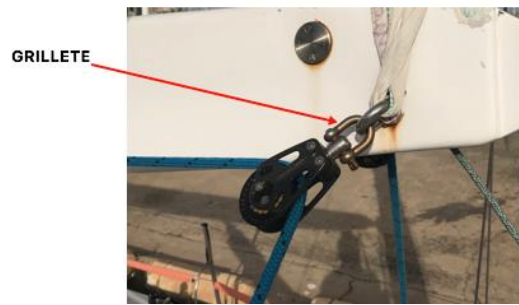


Ilustración 145 - Grillete. Fuente: propia.



Ilustración 146 - Grillete textil. Fuente: propia.

Otro elemento metálico de unión, pero de apertura automática, es el mosquetón. Permite unir dos elementos de forma más rápida que un grillete tanto en su enganche como en su liberación.



Ilustración 147 - Mosquetón. Fuente: propia.

Los *stoppers* son elementos firmemente sujetos a la cubierta por el interior de los cuales pasan unos cabos, reenviados generalmente desde el palo, y que están provistos de una palanca cuya función es la de permitir estando abierto que el cabo circule libremente y estando cerrado permite tirar del cabo o cazarlo, pero no permite que se afloje. Entre los cabos reenviados al piano se encuentran las distintas drizas de las velas, los cabos de los rizos o el pajarín.



Ilustración 148 - Stoppers de piano. Fuente: propia.

Otro elemento de fijación es la mordaza, un elemento con efecto de pinza que sujeta un cabo e impide que se afloje, sin necesidad de atarlo. Está compuesto por dos elementos simétricos con una zona dentada, que en ocasiones van unidos por un puente.



Ilustración 149 - Mordazas. Fuente: propia.

Se conocen como *rings* las anillas antifricción que sustituyen a las poleas en posiciones más estáticas en las que no se necesita velocidad de recuperación, con la finalidad de reducir el peso. También se utilizan como guiador.

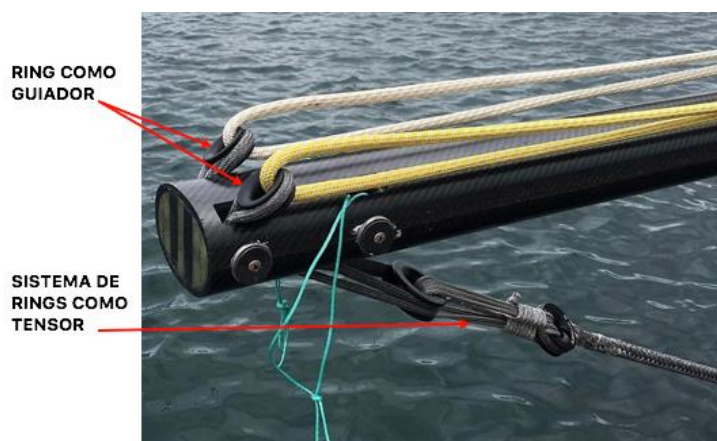


Ilustración 150 - Rings como guiador y como tensor. Fuente: propia.



Ilustración 151 - Ring como desmultiplicador. Fuente: propia.

Los organizadores son elementos formados por baterías de roldanas que se colocan en cubierta y que separan y guían los cabos antes de llegar a cada *stopper*. Existen distintos modelos en función del diámetro de los cabos y del número de roldanas que va desde 2 a 6.

Se entiende por carro del escotero un raíl por el que se puede deslizar el escotero, una polea situada en cubierta por la que pasa una escota. Generalmente en un barco hay 3 carros: dos para el génova, uno a cada banda colocados de proa a popa, y otro para la escota de la mayor, que también recibe el nombre de barra-escota de la mayor y se coloca en dirección babor-estribor. Actualmente muchos veleros con un programa de navegación de crucero solo tienen un carro de génova situado por delante del mástil y dispuesto transversalmente, este sistema se denomina autovirante. Este tipo de barcos no suele llevar barra-escota para la mayor.

Hay dos tipos de carros de escotero, de fricción y de bolas. Los carros de fricción son los más simples, el carro se desliza por el carril. La parte interior del escotero tiene la forma exterior del carril.

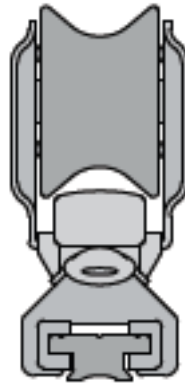


Ilustración 152 - Escotero de fricción. Fuente: Antal.

Los carriles de bolas tienen menor fricción. Los escoters normalmente tienen decenas de bolas pequeñas divididas en dos alturas. Cada marca tiene su propio sistema con diferentes disposiciones de las bolas. Los carriles tienen dos hendiduras a cada lado para mejorar el movimiento de las bolas del escotero a su paso, como se puede ver el en detalle de la ilustración 153.

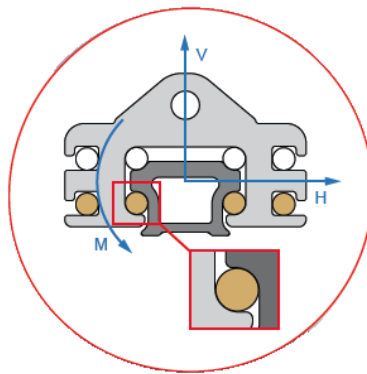


Ilustración 153 - Escotero de bolas. Fuente: Antal.



Ilustración 154 - Carril de escotero de fricción longitudinal de Génova. Fuente: propia.

6.2 Enrolladores y sistemas de almacenado

Los enrolladores y los sistemas de almacenado son sistemas que sirven para desplegar las velas que previamente han sido enrolladas o almacenadas. Estos sistemas se pueden instalar en todas las velas: mayor, génova, spis simétricos, asimétricos o gennaker. Según la vela, se distinguen varios tipos de sistemas de almacenado.

Mayor:

Hay dos tipos de sistema de almacenado, enrollado en el mástil o enrollado en la botavara. En los dos sistemas la vela se enrolla sobre un perfil en el interior del palo o de la botavara. Se pueden accionar con cabos y con ayuda de los winches o por un sistema eléctrico o hidráulico integrado en el enrollador. Se pueden ver más detalladamente en el capítulo 3 de perchas, apartado 3.1.3.

Génova:

La vela se enrolla sobre el perfil del estay de proa que se hace girar a través de un cabo que va unido al tambor inferior, donde estará arraigado el puño de amura de la vela. También se puede accionar por un sistema eléctrico o hidráulico conectado directamente al tambor.

En los barcos de regata normalmente no se tiene sistema de enrollador ya que tiene un mayor peso. Estos barcos usan una guía de plástico llamada *tuff-luff*, por donde se relinga el génova.

Velas de proa portantes:

A los almacenadores de velas portantes también se les llama estays volantes. Se distinguen dos tipos: los de grátil libre y los de grátil unido al cabo anti-torsión.

Los de grátil unido al cabo anti-torsión sirven para velas más planas que los asimétricos, los llamados código cero o asimétricos A3, y están compuestos por un tambor, un cabo anti-torsión que va por dentro de la vela y un giratorio unido al puño de driza. El grátil se enrolla simultáneamente por arriba y por abajo, de manera parecida al enrollador del génova.



Ilustración 155 - Asimétrico con el cabo anti-torsión integrado a la vela. Fuente: Facnor.

El tambor es el elemento que hace girar el cabo anti-torsión. Es recomendable que el tambor sea de cabo sin fin ya que nunca se sabe con exactitud cuántas vueltas se necesitan para enrollarla ya que estas velas tienen una gran superficie.



Ilustración 156 - Tambor. Fuente: Facnor.

El cabo anti-torsión es un cabo textil con un núcleo de aramida trenzado con 8 trenzas para proporcionar alta resistencia y baja extensión. El núcleo está dentro de un manguito de monofilamento que proporciona la resistencia a la torsión. Sobre el manguito hay una funda de poliéster trenzado. Es muy importante la calidad de este cabo ya que el enrollado de la vela depende de la rigidez torsional del mismo.

Los almacenadores de grátil libre se utilizan para los spinnakers asimétricos. El sistema está compuesto por un tambor, un cabo anti-torsión libre, un giratorio unido al puño de driza y un giratorio unido al puño de amura. Los dos giratorios van unidos al cabo anti-torsión.



Ilustración 157- Asimétrico con almacenador de grátil libre. Fuente Facnor.

La vela se enrolla desde el puño de driza hacia abajo. El cabo anti-torsión gira y el puño de amura de la vela no se enrolla ya que hay el giratorio de amura va girando sobre sí mismo.



Ilustración 158 - Tambor y giratorio de la parte de abajo. Fuente: Facnor.

En general, los enrolladores y los sistemas de almacenado son ideales para programas de navegación de crucero o de regatas con tripulación reducida. Facilitan el izado y el arriado de las velas, ya que en realidad las palabras adecuada serían enrollar y desenrollar las velas. La parte negativa de estos sistemas es que tienen menos superficie vélica que la velas de izado tradicional, sobre todo se nota mucho en las mayores enrollables sobre el palo.

Al diseñar las velas, hay que tener en cuenta cual va a ser su sistema de izado. En el caso de las velas portantes pensadas para ser utilizadas con este tipo de sistemas no se les puede dar tanta forma redonda, ya que dificultaría el enrollado de estas.

Capítulo 7. Evolución, programa de navegación y comparación de 4 veleros de 41 pies

7.1 Evolución

En los últimos 50 años los veleros han evolucionado respecto a sus formas, disposición y materiales. Como se ha expuesto en anteriores capítulos los mástiles eran de madera, luego de aluminio y hoy en día cada vez es más común ver palos de fibra de carbono.

En el mismo sentido en que han evolucionado los materiales de los mástiles y perchas, también han evolucionado los materiales de los obenques, estays y de la cabuyería. En los 80 prácticamente todos los veleros tenían jarcia de cable de 1x19, mientras que hoy en día se puede ver más variedad y se han introducido materiales textiles.

En gran parte, la evolución es debida a la investigación que se lleva a cabo en el campo de la competición, en el cual siempre se busca la mayor resistencia con el menor peso. En los años 80 los barcos de crucero salían de astillero con jarcia continua. En la actualidad, la gran mayoría de los barcos de crucero salen de astillero con jarcia discontinua, esto supone un ahorro de material y de peso, ya que los obenques diagonales acaban en la correspondiente cruceta y no bajan hasta cubierta.

7.2 Programa de navegación

El mercado y astilleros tienen una variedad de modelos para distintos programas de navegación. Se distinguen tres tipos: Crucero, Crucero-regata y Regata. De esta manera, el armador al comprar el barco lo hace teniendo en cuenta cuál es su objetivo de navegación.

7.2.1 Crucero

Son barcos destinados a la navegación por placer, tanto a motor como a vela, en los que se da prioridad a la habitabilidad, comodidad y al confort antes que a la *performance* de la vela. En definitiva, se busca la estabilidad y no la velocidad.

Están pensados para que las maniobras sean simples y se puedan realizar con tripulación reducida y familiar o incluso una sola persona. En este tipo de barcos se ven sistemas de almacenaje tanto en génovas como en mayores. Se utilizan materiales económicos tanto para las velas como para la cabuyería y el hardware. El poliéster es el material más utilizado para la totalidad de los cabos de este tipo de barcos. Hay una driza para cada vela, sin drizas de respeto y suelen tener 4 winches

situados en la bañera. El sistema de rizos es automático para que la maniobra se pueda realizar toda desde bañera, sin ir al palo.

7.2.2 Crucero-Regata

Este tipo de barcos están pensados para combinar la navegación de crucero con la de regatas. En muchos casos son barcos que se utilizan para hacer regatas durante el año e ir de crucero en verano. Se busca la combinación de velocidad con la estabilidad.

Estos barcos pueden tener dos juegos de velas completos o unas velas polivalentes. Su gran característica es que tienen dos posibles maniobras, una simple y otra más compleja, que se utilizan en función del programa de navegación. Por ejemplo, el génova tiene las dos opciones de izado, izado convencional o llevarlo enrollado. Son barcos preparados para llevar tangón y en muchos casos para llevar botalón. El cambio de una maniobra a otra no supone grandes modificaciones en el hardware. La vela mayor no es enrollable y, cuando el barco se usa como crucero, se puede instalar un sistema de lazy-jack para facilitar el arriado.

Los materiales de la cabuyería se combinan. Para las drizas de mayor y génova normalmente se utiliza Dyneema y para el resto de cabuyería, poliéster. Dispone de drizas de respeto para las 3 velas. La escota de mayor y las escotas de génova tienen un diámetro sobredimensionado. Cuando se quieren utilizar diámetros menores, las escotas también deben ser de Dyneema.

Para las maniobras dispone de 6 winches, dos se utilizan para el piano, los dos situados en la parte central de la bañera para el génova y los dos más a popa para el spi o la mayor.

7.2.3 Regata

Son barcos con el objetivo principal de realizar regatas. Se distinguen dos subtipos: los que, aun siendo de regata, se podrían utilizar como crucero, aunque sin grandes comodidades, y los que se utilizan de manera exclusiva para realizar regatas. Pueden regatear con rating o con reglas de clase, como los TP52 o Soto 40. Si se regatea con rating se busca una configuración de velas que beneficie al mismo.

En este tipo de barcos se busca la mayor ligereza, por lo tanto, se usan palos y botavaras de carbono. También influyen en el peso la jarcia, la cabuyería y el hardware, por lo que se utilizan cabos de Dyneema y Technora y elementos como grilletes textiles. En algunos barcos la jarcia es de PBO.

Son barcos muy reactivos. Tienen una mayor superficie vélica, un mástil de mayor altura y una orza más profunda que puede ir con un bulbo. Tienen una distribución de la maniobra de cubierta más completa y espaciada, con 6 winches, carro de mayor y poleas que estorban a cruceristas que prefieren espacio para sentarse cómodamente en bañera o para tomar el sol.

Están pensados para realizar las maniobras con tripulación, en las que cada tripulante tiene una función específica y definida. Es más complejo simplificar la maniobra para tripulación reducida, no están preparados para realizar las maniobras desde el timón.

Existen distintos tipos de regatas. Se pueden clasificar según el rating, que va relacionado con la eslora, la clase del velero, el recorrido o el número de tripulantes.

El rating es un sistema de medición para compensar los tiempos en las regatas en las que compiten barcos distintos, de diferentes esloras y años. En España actualmente se utilizan tres sistemas diferentes: IRC³, ORC ⁴y RI⁵.

En las regatas de clase o monotipo se compite en tiempo real ya que los barcos son iguales. Todos son el mismo modelo del mismo astillero y deben cumplir unas especificaciones marcadas.

Según el recorrido se distingue entre:

- *Inshore* o costera: los recorridos más comunes son bastones o triángulo olímpico.
- *Offshore* o travesías de altura.

Según el número de tripulantes se distingue entre:

- Tripulación reducida (solitario, A2, A3).
- Tripulación completa.

A continuación, en la tabla 15, se puede ver un esquema de la clasificación de los tipos de regatas.

³ IRC: es un sistema de tiempo compensado gestionado por *Royal Ocean Racing Club*.

⁴ ORC: el *Offshore Racing Congress Rule* es un sistema de tiempo compensado, gestionado por *The Offshore Racing Congress*.

⁵ RI: Rating Internacional, es un sistema de tiempo compensado gestionado por la Real Asociación Nacional de Cruceros.

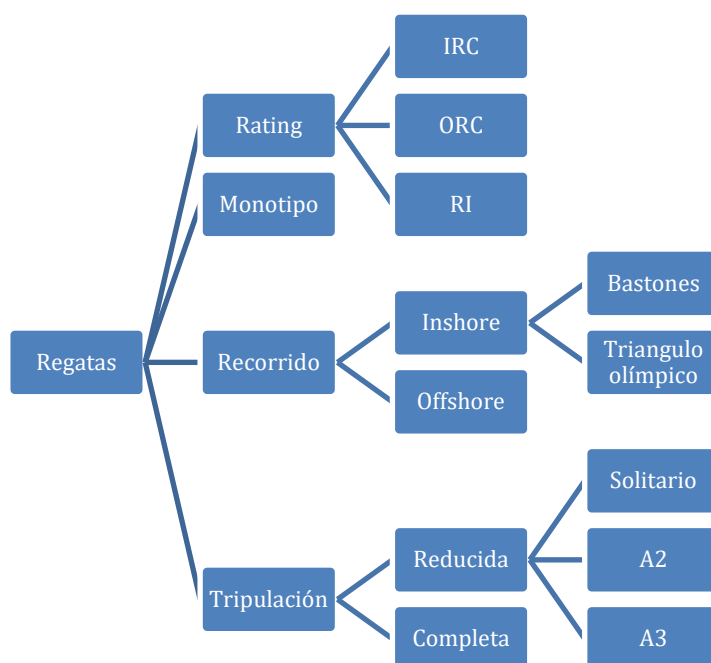


Tabla 15 - Clasificación de los tipos de regatas. Fuente: propia.

7.3 Selección de 4 veleros de 41 pies

Para la comparación se han elegido 4 veleros distintos. Los cuatro veleros tienen una eslora similar a 41 pies, aproximadamente 12 metros, una medida que durante mucho tiempo ha marcado un límite de eslora para aquellos armadores que tenían el PER⁶.

Por un lado, se ha distinguido por época, para ver la evolución entre los años 70-90 con respecto a la actualidad y, por otro lado, también se ha querido encontrar cuales son las diferencias entre los barcos con distinto programa de navegación, eligiendo un barco de crucero y otro de regata de cada una de las dos épocas.

De los 70-90 se ha elegido el Belliure 40 por ser un velero con un claro programa de navegación de crucero, ya que representa las principales características de un modelo de la época, como el aparejo a tope de palo. El X-1 ton se ha elegido por representar un barco de regata de la época, que llegó a ganar la One Ton Cup en 1988.

⁶ PER: Patrón de Embarcación de Recreo.

De los veleros que se encuentran hoy en día en el mercado se han elegido el Hanse 418, como un barco de referencia actual en crucero por sus avances y mejoras en la simplificación de maniobra, y como barco de regata, el X-41 por ser el hermano joven del X-1 ton y por ser un barco que corre tanto en one design, en tiempo real, como en flota, en tiempo compensado.

Velero	Belliure 40	X-1 ton	Hanse 418	X-41
Época	70-90	70-90	Actualidad	Actualidad
Programa de navegación	Crucero	Regata	Crucero	Regata

Tabla 16 - Veleros seleccionados para la comparación. Fuente: propia.

7.3.1 Belliure 40

El Belliure 40 es un velero diseñado en 1984 por Ibold como un crucero de gran confort por su gran manga y capacidad interior. A continuación se muestra sus características principales.

BELLIURE 40		
Eslora	12,20	m
Manga	3,99	m
Calado	1,99	m
Desplazamiento	13,51	ton

Tabla 17 - Características del Belliure 40. Fuente: propia.

Se diseñó con dos tipos de aparejo: sloop y ketch. Como ketch solo se construyeron 3 unidades que fueron destinadas a la Escuela de la Marina Mercante. Hoy en día la Facultat de Nàutica de Barcelona dispone de uno de ellos. El sloop fue el diseño que más se construyó. Su plano vélico está formado por una mayor pequeña y un gran génova, con aparejo a tope de palo. La gran mayoría llevaban un sistema de génova enrollable y un sistema de mayor enrollable en el mástil.

BELLIURE 40		
Mayor	31,15	m2
Génova	58,70	m2

Tabla 18 - Áreas del plano vélico del Belliure 40. Fuente: propia.



Ilustración 159 - Belliure 40 con mayor y génova enrollable. Fuente: propia.

Tiene un aparejo a tope de palo, es por este motivo que la superficie del génova es tan grande. El sistema de enrollador de mayor se hace funcionar directamente desde el mástil con una maneta en el winche del mástil. No tiene contra rígrida de mayor, sino que tiene un sistema de poleas con un cabo y un amantillo de mayor fijo en el extremo de popa de la botavara para evitar que caiga cuando la mayor no está abierta. No tiene tangón ni botalón.

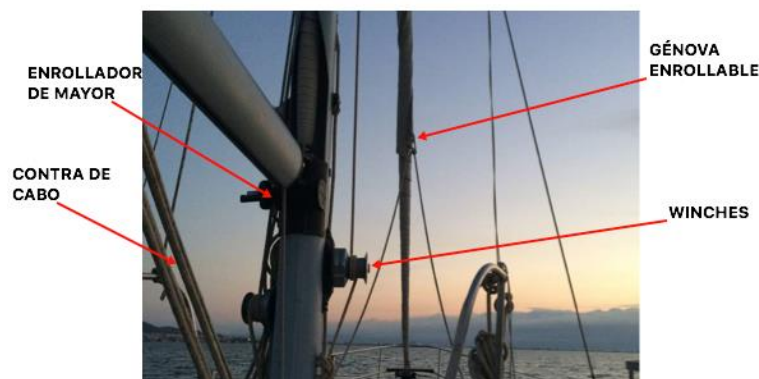


Ilustración 160 - Elementos del mástil del Belliure 40. Fuente: www.cosasdebarcos.com

Todas las perchas son de aluminio y el palo está apoyado sobre cubierta. Tiene dos pisos de crucetas y las crucetas son rectas. La jarcia es continua de cable de 1x19 con obenquillos proeles y burdas. Los arraigos de la jarcia en cubierta están situados casi en la regala. Los terminales de cubierta son prensados con horquilla-rosca con tensor.



Ilustración 161 - Obenques del Belliure 40. Fuente: www.cosasdebarcos.com

La cabuyería es de poliéster, tanto drizas como escotas, y tienen grandes diámetros. El piano está situado en el mismo palo, con un winche a cada lado del palo. En lugar de *stoppers*, tiene cornamusas. El carro de génova está situado muy cerca de la regala del barco.

Tal como se muestra en la ilustración 162, la escota de la mayor está en bañera y cuenta con un carro transversal y dispone de su propio winche situado en la crujía a popa de la barra-escota.



Ilustración 162 - Carro de escota de la mayor del Belliure 40. Fuente: www.cosasdebarcos.com

Tiene dos winches más en bañera para trimar el génova, situados cerca del timón. Tiene otro winche en bañera en estribor, cerca de la escotilla del barco, que sirve para tirar del puño de escota de la mayor al desenrollarla. Los winches de las drizas de mayor y de génova están en el propio palo.

7.3.2 X-1 ton

El X-1 ton es un barco de regata de los años 80 del astillero X-Yachts diseñado por Jeppesen en el año 1983 que regateaba en clase monotipo de one ton.

En la tabla 19, se puede ver sus características principales.

X-1 ton		
Eslora	12,12	m
Manga	3,94	m
Calado	2,29	m
Desplazamiento	5,98	ton

Tabla 19 - Características del X-1 ton. Fuente: propia.



Ilustración 163 - Vista desde el mástil del X-1 ton. Fuente: X-Yachts.

Su plano vélico está compuesto por una mayor, un génova con *tuff-luff*, sin enrollador, y un spi relativamente pequeño, ya que no sale desde tope de palo, sino justo por encima del estay.

X-1 ton		
Mayor	45,45	m ²
Génova	30,51	m ²
Spinnaker	90,72	m ²

Tabla 20 - Áreas del plano vélico del X-1 ton. Fuente: propia.

Las perchas son de aluminio y el palo es pasante y tiene una altura de 15,70 m. La botavara, de 5,79 m de longitud, está sujeta por una contra rígida, también de aluminio. Tiene un tangón de carbono de 4,21 m.

Su aparejo es muy fraccionado el estay empieza a 2,70 m del tope de palo. La jarcia continua es de varilla. Tiene 3 pisos de crucetas rectas. Además del back-estay, tiene burdas altas y burdas bajas. El back-estay es de cable y se tensa a través de un sistema de poleas de cascada.



Ilustración 164 - Elementos del X-1 ton. Fuente: www.yachtwolrd.com.

La cabuyería combinaba materiales, las drizas tenían un alma de kevlar y una funda de poliéster con kevlar, para aumentar su resistencia a los rayos UV. El resto de las escotas eran de poliéster.

Tiene una bañera muy ancha ya que el barco cuenta con una gran manga. Dispone de 8 winches, cuatro en la zona del piano, dos encima de la cabina para el propio piano y dos para el génova. Los otros cuatro están situados en bañera, dos para la mayor y los dos de popa para las burdas.



Ilustración 165 - Bañera del X-1 ton. Fuente: www.yachtwolrd.com

La escota de la mayor utiliza un sistema de desmultiplicación de poleas 6:1 y 24:1. La barra-escota de la mayor está muy a popa y es muy ancha. La cabina es muy estrecha. Tiene dos carriles longitudinales en cada lado del barco, el interior, para el foque y el exterior, para el génova. Están dispuestos de manera paralela a la cabina ambos en la mitad más cercana a ella. El carro del tangón va por fricción, sin bolas.

En la base del palo tiene dos distribuidores de drizas con la función de abrir el ángulo hacia cada costado y poderlas redirigir al piano. De la base del palo hasta el piano van bajo cubierta.

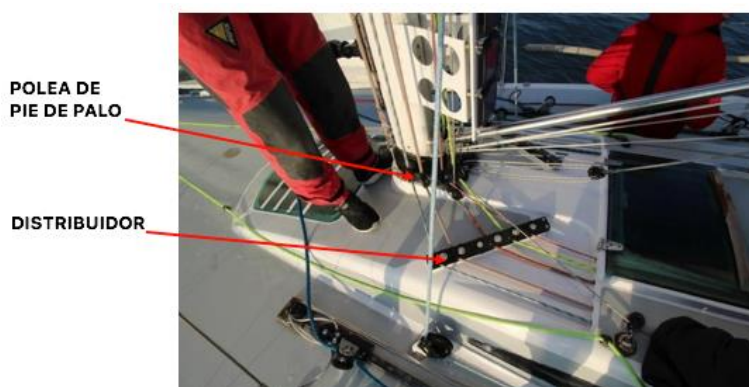


Ilustración 166 - Pie de mástil del X-1 ton. Fuente: www.yachtworld.com

7.3.3 Hanse 418

El Hanse 418 es un velero de 2018 diseñado para un programa de navegación 100% de crucero. Diseñado por Judel i Vrolijk. Sus características principales se muestran en la siguiente tabla.

HANSE 418		
Eslora	12,40	m
Manga	4,17	m
Calado	1,75-2,10	m
Desplazamiento	10,10	ton

Tabla 21 - Características del Hanse 418. Fuente: propia

Como se puede ver en la ilustración 167, el plano vélico de este barco está compuesto por una mayor, un génova y un gennaker.



Ilustración 167 - Plano vélico del Hanse 418. Fuente: Hanse

La superficie de la mayor varía en función de si el armador elige mástil enrollable o simple.

HANSE 418		
Mayor	52,50	m2
Mayor enrollable	45,00	m2
Génova autovirante	34,50	m2
Gennaker	120,00	m2

Tabla 22 - Plano vélico del Hanse 418. Fuente: propia

Las perchas son de aluminio. El mástil tiene una altura de 16,17 m y está apoyado en cubierta, en el interior del barco hay un puntal para contrarrestar la presión. Este modelo de barco puede salir con mástil simple o mástil enrollable.

Cuando el mástil es enrollable, la superficie de la vela mayor disminuye y el sistema del enrollador va con un tambor de cabo sin fin. Cuando el mástil es simple, la botavara está dotada de un sistema de rizos automáticos para poder rizar la vela desde bañera sin necesidad de desplazarse al palo.

La contra es rígida y se regula a través de un sistema de poleas que va reenviado al piano. Al no llevar spi simétrico, no dispone de tangón. Tampoco lleva botalón, que se sustituye como amura del gennaker por el brazo del ancla.

Está compuesto por un aparejo fraccionado con 2 pisos de crucetas retrasadas y muy largas, para que la bajada de los obenques sea lo más exterior posible ya que los cadenotes de los obenques están situados en la regala del barco para dejar la cubierta más despejada.



Ilustración 168 - Hanse 408 con foque autovirante. Fuente: Hanse.

La jarcia es discontinua y está formada por cable de 1x19 y terminales prensados. El back estay se ajusta mediante un sistema de poleas de cascada llegando a cubierta, tal como se puede ver en la ilustración 169.



Ilustración 169 - Sistema de cazado del back-estay del Hanse 408. Fuente: Hanse.

La cabuyería es de poliéster, tanto las drizas como las escotas. En este programa de navegación no es necesario utilizar materiales con mejores prestaciones de resistencia, sino que el usuario de estos barcos prioriza otras características como son la durabilidad y la resistencia a los rayos UV.

Tiene el sistema sobre cabina de escota de la mayor, sin barra-escota. Los *stoppers* de piano están situados muy a popa, a un costado del timón, para facilitar las maniobras. Cuenta con 4 winches situados en la bañera del barco, 2 en la zona del piano y 2 un poco más a proa, para el gennaker.



Ilustración 170 - Gennaker del Hanse 408. Fuente: Hanse

El génova es autovirante. Tiene un carril situado en cubierta a proa del mástil de manera transversal con una polea en el carro, tal como se muestra en la Ilustración 171. Hay otra polea en el puño de escota de la vela y, a través de una sola escota, se trima el génova desde el piano, como si fuera una driza. El génova tiene un enrollador de tambor con cabo.



Ilustración 171 - Carro del foque autovirante. Fuente: Hanse.

El gennaker va con un sistema de almacenador para facilitar la maniobra.

7.3.4 X-41

El X-41 fue diseñado por el equipo de diseño de X-Yachts liderado por Niels Jeppesen. Fue lanzado en 2007 y está reconocido por la ISAF (International Sailing Federation).



Ilustración 172 - Render del X-41. Fuente: X-Yachts.

Es un barco diseñado para ser competitivo en ORC y IRC, además de en sus regatas de clase. A continuación se puede ver sus características principales.

X-41		
Eslora	12,35	m
Manga	3,64	m
Calado	2,5	m
Desplazamiento	6,80	ton

Tabla 23 - Características del X-41. Fuente: propia.

Su plano vélico está compuesto por una mayor de gran tamaño en relación con su desplazamiento, una vela de proa que es un foque del 106% que no se solapa y un spi. Por reglas de clase, el X-41 va equipado con spinnaker de gran tamaño con un tangón de 4,98 m, unos 10 centímetros más largo que la J.

X-41		
Mayor	54,50	m ²
Génova	43,80	m ²
Spinnaker	147,60	m ²

Tabla 24 - Plano vélico del X-41. Fuente: propia.

Cuenta con un mástil y una botavara de carbono, obteniendo gran rigidez y ligereza. El palo es pasante y mide 15,97 m. La botavara mide 5,31 m. La contra de aluminio es rígida, regulándose por un sistema de poleas. El génova va relingado por un *tuff-luff*.



Ilustración 173 - Plano vélico del X-41. Fuente: www.cruiser-racer.com

El aparejo es fraccionado, el estay empieza a 1,3 m del tope de mástil. Este último dato indica que es un aparejo fraccionado pero que el estay de proa sale desde muy arriba sin ser aparejo de tope de palo.

La jarcia es de varilla, los cadenotes de los obenques están situados en la regala, por lo tanto, tiene unas crucetas retrasada muy anchas. El back-estay es textil, de Dyneema o Kevlar y se regular por un sistema de desmultiplicación de poleas.



Ilustración 174 - Cadenotes en regala del X-41. Fuente: www.cruiser-racer.com

La cabuyería es de Dyneema, tanto las drizas como las escotas. Tiene dos drizas de spi, dos drizas de foque y una driza de mayor. La maniobra de spi está duplicada, esto significa que tiene dos brazas y dos escotas.

Es un barco con un hardware muy completo. Como muestra la Ilustración 175, en bañera tiene 6 winches. Dos winches exclusivos para la mayor, situados al lado de la barra de escota y muy cerca de la rueda del timón. Dos winches en la zona de piano, que se usan para subir y bajar las drizas y para las escotas de spi. Los dos winches restantes, situados en el centro de la bañera son para las escotas de foque y para las brazas. La escota de la mayor tiene un sistema de “alemana”, descrito en el apartado 3.2.1.



Ilustración 175 - Bañera del X-41. Fuente: www.cruiser-racer.com

Este barco, al solo llevar foques, tiene un carril dispuesto longitudinalmente a cada lado del barco. Dispone de un sistema de poleas, llamado Barber, para poder entrar transversamente el puño de escota del foque. Todos los carros que van por los carriles van con bolas, disminuyendo la fricción.

En la base del palo tiene distribuidores de driza y en la zona de piano tiene una roldana plana para pasar drizas del piano de un lado al opuesto.



Ilustración 176 - Pie de mástil y carril de foque del X-41. Fuente: www.cruiser-racer.com

7.4 Comparación de 4 veleros de 41 pies

En primer lugar, se presentan dos tablas comparativas de los 4 veleros y después se realiza una comparación de los veleros en función del programa de navegación y también se ha añadido un apartado en el que se numeran las posibles mejoras a realizar en cada uno de los 4 barcos.

La comparación se ha realizado en función del programa de navegación de los veleros, por un lado, se compara el Belliure 40 con el Hanse 418, como barcos de crucero y por otro, el X-1 ton con el X-41, como barcos de regata.

7.4.1 Tablas comparativas

A continuación, se presentan dos tablas comparativas. En la tabla 25 se hace referencia a la configuración de cada uno de los barcos y la tabla 26 a los materiales.

Velero	Belliure 40	X-1 ton	Hanse 408	X-41
Época	70-90	70-90	Actualidad	Actualidad
Programa de navegación	Crucero	Regata	Crucero	Regata
Tipo de aparejo	A tope de palo	Muy fraccionado	Fraccionado	Fraccionado
Tipo de jarcia	Continua	Continua	Discontinua	Discontinua
Nº de pisos de crucetas	2	3	2	2
Tipo de crucetas	Rectas	Rectas	Retrasadas	Retrasadas
P	13,85 m	15,7 m	16,17 m	16,25 m
J	4,94 m	4,21 m	4,68 m	4,91m
A plano vélico M+G	89,85 m2	75,96 m2	83,54 m2	86,52 m2
Desplazamiento	13,51 ton	5,98 ton	10,10 ton	6,8 ton
Nº winches	8	8	4	6

Tabla 25 - Configuración de los barcos. Fuente: propia.

Velero	Belliure 40	X-1 ton	Hanse 418	X-41
Perchas	Aluminio	Aluminio	Aluminio	Carbono
Jarcia	Cable 1x19	Varilla	Cable 1x19	Varilla y Textil
Drizas	Poliéster	Kevlar	Poliéster	Dyneema
Escotas	Poliéster	Poliéster	Poliéster	Dyneema

Tabla 26 - Configuración de los materiales de los barcos. Fuente: propia.

7.4.2 Comparación entre Belliure 40 y Hanse 418

Los aparejos de estos dos barcos son muy distintos. El Belliure tiene un aparejo a tope de palo con jarcia continua y crucetas rectas y el Hanse tiene un aparejo fraccionado en el cual el estay nace 1,2 metros por debajo del tope de palo, con jarcia discontinua y crucetas retrasadas y largas para que los obenques acaben en la regala. Esta configuración aporta amplitud al pasillo lateral de la cubierta. A continuación se puede ver una tabla comparativa de las características del aparejo y plano vélico.

	Belliure 40	Hanse 418
Altura mástil (P+BAS)	15,46 m	17,70 m
J	4,94 m	4,70 m
Altura estay	15,40 m	16,50 m
Distancia al tope	0,06 m	1,20 m
Superficie Mayor	31,15 m ²	52,50 m ²
Superficie Génova	58,70 m ²	34,50 m ²
Superficie vélica total	89,85 m ²	87,00 m ²
Desplazamiento	13,51 ton	10,10 ton
S/D	6,65	8,61

Tabla 27 - Características del aparejo y plano vélico. Fuente: propia.

En cuanto al plano vélico, no hay gran diferencia en la superficie vélica total, aunque hay una gran diferencia respecto a la superficie de la mayor y del génova. En el Belliure 40 la vela con mayor superficie es el génova, con 58,70 m², y en el Hanse la vela con mayor superficie es la mayor, con 52,50 m². La gran superficie del génova del Belliure es debida a la configuración del aparejo a tope de palo y a una J considerable.

Al dividir la superficie vélica entre el desplazamiento del barco, el Hanse obtiene un factor de 8,61 y el Belliure de 6,65. Este factor es un parámetro de diseño no dimensional que indica si el barco tiene una buena *performance* así como da una idea de la estabilidad que tiene. Se trata de una comparación similar a la que se realiza con los caballos de un coche. Se puede ver que el Hanse tiene mayor superficie respecto al peso del barco, lo que indica que podrá obtener más velocidad y potencia. En cuanto al material de la cabuyería, los dos barcos usan poliéster.

Respecto al hardware, tienen distintos sistemas de izado de la mayor, el Belliure tiene mayor enrollable en el mástil y el Hanse cuenta con un sistema de izado tradicional con patines equipado con una funda lazy-back. Existe otro modelo de Hanse 418 que sale de astillero con mayor enrollable y el sistema del enrollador es por cabo sin fin reenviado a bañera. A diferencia de este último sistema,

el Belliure tiene un sistema de enrollador sin cabo que se hace girar directamente desde el winche del palo. Los dos veleros utilizan el mismo sistema de enrollador de génova, aunque de distintas marcas.

Tal como se puede observar en la tabla 28, al comparar uno con el otro se observa la evolución y simplificación de la maniobra. El Hanse cuenta con un sistema de foque autovirante, lo que elimina los dos carros laterales y solamente necesita un winche para su maniobra. Otra diferencia es que no tiene carro de mayor y la escota de mayor está situada sobre la cabina, dejando la bañera libre de sistemas. El Belliure 40 tiene la escota de la mayor en el centro de la bañera sobre una barra-escota.

Otra mejora del Hanse respecto al Belliure es que el Hanse tiene el piano, con todas las drizas y escotas, al lado de la rueda del timón mientras que el piano del Belliure está situado a pie de mástil.

Al comparar el número de winches del Belliure y del Hanse, se observa que este último tiene la mitad de winches, 4 respecto a 8, como consecuencia de la optimización de la maniobra y desarrollo del hardware. También hay que destacar que el Hanse sale de astillero con los dos winches de popa eléctricos.

	Belliure 40	Hanse 418
Sistema de izado de mayor	Enrollable en el mástil	Izado tradicional con patines y funda lazy back
Sistema de izado de génova	Enrollador de génova	Enrollador de génova
Escoteris génova	2 carriles Longitudinales	Sistema autovirante con 1 carril transversal
Sistema de escota de mayor	En bañera con carro	Sobre cabina sin carro
Piano	En el palo	Al lado del timón
Número de winches	8	4

Tabla 28 - Comparación entre el Belliure 40 y el Hanse 418. Fuente: propia.

7.4.3 Comparación entre el X-1 ton y el X-41

El aparejo de los dos barcos es fraccionado, aunque el del X-1 ton es mucho más fraccionado, ya que el estay nace a 2,69 m del tope de palo y por este motivo dispone de burdas. El material de la jarcia de los dos barcos es varilla, el X-1 ton tiene jarcia continua con crucetas rectas y el X-41 tiene jarcia discontinua con crucetas retrasadas y largas, como el Hanse 418.

El cambio de jarcia continua a discontinua es una mejora destacable, ya que implica un ahorro de material, peso y dinero. Con la introducción de la jarcia discontinua, los terminales de cruceta han evolucionado, ya que en la cruceta está el tensor del cable, como es el caso del X-41.

En la tabla 29 se puede ver la comparación entre las características del aparejo y plano vélico de cada uno.

	X-1 ton		X-41	
Altura mástil (P+BAS)	17,20	m	18,03	m
J	4,21	m	4,87	m
Altura estay	14,51	m	16,73	m
Distancia al tope	2,69	m	1,30	m
Superficie Mayor	45,45	m2	54,80	m2
Superficie Génova	30,51	m2	43,80	m2
Superficie vélica total	75,96	m2	98,60	m2
Desplazamiento	5,98	ton	6,80	ton
S/D	12,70		14,50	

Tabla 29 - Características del aparejo y plano vélico. Fuente: propia.

Las perchas del X-41 son de carbono mientras que las del X-1 ton son de aluminio. Ambos cuentan con un tangón de carbono.

El plano vélico del X-41 es mucho mayor, con casi 100 m2, respecto a los 76 m2 del X-1 ton. El X-1 ton va con génovas y el X-41 con foques, pero a pesar de esto, al tener una longitud de estay tan corta tiene mayor superficie de génova. La relación entre la superficie vélica y el desplazamiento muestra que el X-41 tiene un mejor factor que el X-1 ton por lo que indica que tiene una mejor *performance*. Al comparar la relación entre los factores de los barcos de regata y de los cruceros analizados anteriormente, se puede ver que la diferencia entre el velero de los 70-90s y el actual es similar.

Los dos X tienen el mismo sistema de izado de la mayor, el estándar por relinga y ambos tienen un *tuff-luff* en el estay.

El sistema de escota de mayor del X-41 es un sistema de “alemana”, lo que implica que necesita un winche a cada lado de manera exclusiva para la mayor y tiene una barra-escota situada justo por delante de la rueda del timón, igual que el X-1 ton, aunque este último tiene un sistema de poleas 6:1 y 24:1 y no necesita winches.

El X-41 tiene un carro de escotero a cada lado con una longitud ajustada para el foque, mucho más corto que el carro del X-1 ton que va desde la altura del palo hasta bañera para poder izar velas de proa más grandes. Además, el X-1 ton tiene dos carros a cada lado, uno más pegado a la cabina para el foque y otro más cercano a la regala para el génova.

El X-1 ton tiene 8 winches y el X-41, 6. El X-1 ton utiliza los dos winches de más a proa para el piano, los dos siguientes para el génova y la braza de spi, los siguientes para las escotas de spi y los dos de popa se utilizan de manera exclusiva para las burdas. El X-41 combina los dos de proa para el piano y la escota de spi, dos más los utiliza para el génova y la braza y los dos de popa, como ya se ha comentado, se utilizan para la mayor.

	X-1 ton	X-41
Sistema de izado de mayor	Izado tradicional con relinga	Izado tradicional con relinga
Sistema de izado de génova	Izado por <i>tuff-luff</i>	Izado por <i>tuff-luff</i>
Escoteros génova	4 carriles longitudinales largo	2 carriles longitudinales corto
Sistema de escota de mayor	Carro de mayor en bañera con desmultiplicación 6:1-24:1	Carro de mayor en bañera con sistema "alemana"
Piano	En bañera a cada lado de la escotilla	En bañera a cada lado de la escotilla
Número de winches	8	6

Tabla 30 - Comparación entre el X-1 ton y el X-41. Fuente: propia.

7.4.4 Posibles mejoras a realizar

Una vez analizados y comprados los diferentes elementos de cada uno de los barcos, se proponen posibles para cada uno de ellos.

El Belliure 40 tiene un gran génova, debido a su aparejo a tope de palo, por lo que es recomendable instalar un estay de trinqueta para poder izar velas de proa más pequeñas sin necesidad de arriar el génova, evitando ir pasados de vela con vientos fuertes.

Otra posible mejora sería reenviar el piano a bañera para facilitar las maniobras con tripulación reducida e inexperta. También se podría modificar la ubicación de la barra-escota, moviéndola de la bañera

	ACTUAL	MEJORA
BELLIURE 40	Aparejo a tope de palo, con gran génova	Instalación de estay de trinqueta
	Piano en el palo	Piano en bañera
	Barra-escota en bañera	Barra-escota sobre cabina

Tabla 31 - Mejoras Belliure 40. Fuente: propia.

El Hanse 418 sale de astillero con la cabuyería de poliéster, incluidas las drizas de mayor y de asimétrico que resbalan en el *stopper* y como consecuencia las velas van perdiendo tensión de grátil. Para evitar que esto suceda, es recomendable cambiar las drizas por unas nuevas de alma de Dyneema con funda de Technora.

En muchos casos a los armadores del barco se les queda pequeño el foque con el que sale de astillero, por lo que en estos casos es recomendable instalar dos nuevos carriles longitudinales para poder izar velas de proa más grandes que no sean autovirantes.

	ACTUAL	MEJORA
HANSE 418	Drizas de mayor y de vela portante de poliéster	Driza de mayor y de vela portante de alma de Dyneema con funda de Technora
	Foque de pequeñas dimensiones autovirante	Foque hasta las crucetas
	Carril de génova transversal	Colocación de 2 carriles longitudinales para el génova

Tabla 32 - Mejoras Hanse 418. Fuente: propia.

El X-1 ton tiene dos carros de escotero a cada lado, no es necesario que estén duplicados, con uno solo ya sería suficiente e implicaría una reducción de peso.

En este caso, se podría cambiar la configuración de aparejo subiendo la salida del estay y eliminando también las burdas, y sus dos winches. Este cambio supondría un aumento de la superficie vélica de la vela de proa, con lo que también se podría cambiar los génovas por foques aumentando el ángulo de ceñida.

	ACTUAL	MEJORA
X-1 ton	2 carros de génova a cada lado	1 carro de génova a cada lado
	Aparejo muy fraccionado	Subir la salida del estay y pasaría de génovas a foques

Tabla 33 - Mejoras X-1 ton. Fuente: propia.

El X-41 es un velero de regatas con un diseño muy pensado, siendo complicado optimizarlo. Para que sea más competitivo en regatas de ORC se podría disminuir la P y la E, reduciendo así la superficie vélica sin que implique una gran pérdida de velocidad.

Otra mejora para este modelo sino se compite en clase one design es instalar unos winches de génova con auto cazado ya que cuando salen de astillero y por normas de clase no tiene este sistema.

	ACTUAL	MEJORA
X-41	Gran superficie vélica	Disminuir superficie vélica para ser más competitivo en tiempo compensado
	Winches sin self	Winches con self

Tabla 34 - Mejoras X-41. Fuente: propia.

Capítulo 8. Conclusión

Las perchas, la jarcia y el hardware son imprescindibles para izar, trimar y maniobrar las velas. La evolución y las mejoras que se han realizado en los barcos en los últimos 50 años son debidas a la investigación que se lleva a cabo en el campo de la competición, en el cual siempre se busca la mayor resistencia con el menor peso.

Hoy en día, la relación entre la superficie vélica y el desplazamiento ha aumentado. Este aumento se debe a la reducción del peso del propio barco y sus accesorios. Por este motivo los veleros cada vez tienen más superficie vélica para el peso del barco, lo que contribuye a que sean más potentes y rápidos. La superficie vélica ha aumentado poco, pero se han realizado cambios en la distribución de la misma. Actualmente, la superficie de la mayor suele ser superior a la del génova, mientras que en los años 70-90 era el génova el que solía tener una superficie mayor.

Las perchas deben tener distintas características: resistencia, solidez, ligereza y una forma aerodinámica. Dependiendo del programa de navegación, se incidirá en las características necesarias para cada elemento. Por ejemplo, un barco que tenga el objetivo de cruzar el Atlántico deberá tener un palo muy resistente y dejar de lado la ligereza. Si se trata de un barco de regatas *inshore*, necesitará un mástil ligero, resistente y muy aerodinámico.

Con respecto a los materiales de las perchas, el aluminio sigue siendo el material más utilizado, aunque cada vez se utiliza más el carbono para los mástiles de los barcos de regata, como en el X-41. Todavía es más común que los tangones y botalones sean de carbono. La longitud del mástil ha aumentado y los palos cada vez son más altos ya que el material cada vez es más ligero y tiene mayor rigidez.

Hay que destacar que son muy importantes el equipamiento, los elementos accesorios y los terminales de las perchas, ya que estos son los que marcan la diferencia entre un tubo y un mástil o un tangón.

En cuanto al tipo de aparejo, cada vez es más común que los aparejos sean fraccionados, o, dicho de otra manera, al ver un aparejo a tope de palo, se puede deducir que el barco tiene ciertos años o bien que se trata de un barco de gran eslora. ***La jarcia ha pasado de ser continua a discontinua***, disminuyendo los metros de cable, y por tanto el peso.

Los pisos de crucetas se mantienen, aunque ***las crucetas han pasado de ser rectas a ser retrasadas***, para que los obenques también trabajen con una componente longitudinal descargando una parte de la tensión del estay. De esta manera, también facilitan el trimado del palo, dándole estabilidad y rigidez. Otros avances son que, al ser más largas las crucetas, ***los cadenotes están situados más cerca de la regala***, ganando espacio en cubierta y la evolución de los terminales de cruceta.

En los años 70-90 la mayoría de los barcos de crucero, como el Belliure 40, tenían aparejos a tope de palo, con jarcia continua y crucetas rectas, ya que para construir el mástil era más sencilla esta configuración en la que no se tenía que reforzar la perilla, y en la que los cables longitudinales, el estay y el back estay, trabajaban más que los laterales. En esa misma época los barcos de regata

empezaron a salir de astillero con aparejo fraccionado. En el caso concreto del X-1 ton, que era un barco de competición de última generación, el astillero danés X-Yachts arriesgó y diseñó un aparejo muy fraccionado que tuvo que compensar con burdas y que conllevó una pérdida de superficie en la vela de proa. Con el tiempo, los diseñadores han encontrado el punto que combina el aparejo fraccionado de manera compensada.

Al tiempo que han evolucionado los materiales de las perchas, también han evolucionado los materiales de los obenques y estays y de la cabuyería. ***En los años 80 prácticamente todos los veleros tenían jarcia de cable de 1x19 mientras que hoy en día se puede ver más variedad y se han introducido materiales textiles.***

Hace 50 años, para unir el cable con el terminal, se solía utilizar el sistema mecánico. Actualmente, el sistema más utilizado es el prensado. La varilla se utiliza en los veleros de regata, aunque últimamente los barcos de alta competición salen de astillero con jarcia textil de PBO, ya que, al reducir el peso por encima del centro de gravedad, mejora la estabilidad y el adrizamiento del barco. Sea cual sea el tipo de unión, ***se utilizan 6 tipos de terminales que se combinan de múltiples formas para arraigar la jarcia al palo y al barco.***

Con respecto a la cabuyería o jarcia de labor, hay que tener en cuenta las principales características técnicas de cada material como son la carga de rotura, el estiramiento y la resistencia a los rayos UV, que condiciona su durabilidad. Hoy en día, los cabos están confeccionados con fibras sintéticas. ***Para el crucero se utilizan cabos de poliéster de alta tenacidad trenzado y para la competición, cabos con alma de Dyneema, y funda de poliéster.*** El Dyneema destaca por su resistencia y, cubierto por una funda, tiene mucha durabilidad. Hay que destacar que, en barcos de grandes esloras y en la alta competición, las fundas de los cabos están hechas de una combinación de poliéster con Technora, para aumentar su resistencia. La longitud y el diámetro de cada cabo están determinados por la eslora y las medidas del barco.

El hardware de cubierta tiene infinidad de combinaciones para facilitar las maniobras, siempre teniendo en cuenta cual es el programa de navegación del barco que se quiere optimizar o que se está estudiando. Si se trata de un crucero, la tendencia es simplificar para aumentar la comodidad y para que se puedan realizar las maniobras con tripulación reducida, como por ejemplo con la instalación de sistemas de almacenado para las velas de proa, tanto en génovas como en spis. También hay tendencia a despejar la bañera o la cubierta para mejorar el confort, aunque siempre sin perder la esencia de la navegación, como el sistema de escota sobre cabina del Hanse 418. En los veleros de regata, se desmultiplican los sistemas para poder trimar con mayor exactitud.

Con la comparación de los veleros, se ha podido determinar que ***los barcos salen de astillero con unos elementos de hardware muy básicos***, tanto en número como en calidad o disposición. Un ejemplo son las poleas de pie de palo, que son todas del mismo tamaño, cuando en realidad, si se estudiara de manera concreta cada caso, la polea de la driza de mayor o la de spi, por la resistencia que deben soportar, deberían tener un mayor tamaño que la del amantillo.

Tras el estudio, se ha podido observar que, ***tanto en la cabuyería como en el hardware, se tiende a sobredimensionar los elementos.*** Si se consultara o se tuviera un conocimiento más profundo de cada elemento, estos se podrían dimensionar de manera adecuada.

La principal conclusión que se puede extraer de este trabajo es que, en función del programa de navegación, las necesidades del barco varían y la configuración se debe adaptar a ellas y que, conociendo el funcionamiento de los elementos, se puede modificar la configuración de cualquier velero. Que tengas un barco de crucero no significa que no lo puedas utilizar para realizar regatas, puedes optimizarlo para que sea más competitivo, haciéndole un nuevo juego de velas o modificando las maniobras añadiendo nuevos elementos de hardware, pero hay que tener en cuenta las limitaciones del propio barco, ya que las forma del mismo no están pensadas para la competición. Lo mismo sucede con los barcos de regata, que también puedes modificarlos para facilitar las maniobras, ya sea cambiando la mayor por una enrollable o colocando un winche eléctrico.

Para acabar, espero que este trabajo sirva como guía para otras personas interesadas en el tema, ya que es muy importante conocer los elementos del barco para poder realizar mejoras en la maniobra, siempre teniendo en cuenta cuál es el objetivo del armador. La ventaja que tiene un velero es que siempre se puede mejorar, haciendo desde pequeñas modificaciones en la distribución del hardware hasta sustituir el palo y la jarcia completamente.

Bibliografía

Libros:

- [1] Bertrand Chéret. Las velas. Compresión, trimado y optimización. Juan Zamora. 2th ed. Barcelona: Editorial Juventud, 2004. ISBN 84-261-3317-7.
- [2] Ivar Dedekam. Puesta a punto de Velas y Aparejo. Margarita Martínez, Raúl de Lara. 1th ed. Oslo: Dedekam Design, 2002. ISBN 82-91443-13-0.
- [3] Jan-Willem Polman and Manja Thiry. Splicing Moderns Ropes. Electronic edition. London: Adlard Coles Nautical and Bloomsbury Publishing Plc, 2016. ISBN 978-1-47292320-2.
- [4] Lars Larsson, Rolf E Eliasson and Michal Orych. Principles of Yacht Design. 4th ed. London: Adlard Coles Nautical, 2014. ISBN 978-1-4081-9790-6.
- [5] Peter Schweer. El correcto trimado del aparejo. Manuel Figueras. 8th ed. España: Tutor, 2001. ISBN 84-7902-336-8.
- [6] Philippe Viannay. El nuevo curso de navegación de Glénans. Cristina Puya. Edición actualizada. España: Tutor, 1993. ISBN 84-7902-163-2.
- [7] Richard Hederson. Understanding rigs and rigging. Revised edition. United States of America: McGraw-Hill, 1991. ISBN 0-07-156304-0.

Páginas Webs:

- [1] North Sails. Consulta el 15/12/2017. Disponible en: <http://www.uk.northsails.com>
- [2] Blue wave. Consulta el 15/12/2017. Disponible en: <https://bluewave.dk>
- [3] Selden. Consulta 15/12/2017. Disponible en: <http://www.seldenmast.com>
- [4] Sparcraft. Consulta 27/12/2017. Disponible en: <http://www.sparcraft.com>
- [5] Vmg Soromap. Consulta 27/12/2017. Disponible en: <http://www.vmgSOROMAP.com>
- [6] Harken. Consulta 28/12/2017. Disponible en: <http://www.harken.com>
- [7] Furler boom. Consulta 28/12/2017. Disponible en: <http://furlerboom.dk>
- [8] The rigging company. Consulta 02/02/2018. Disponible en: <https://theriggingco.com/blog/>
- [9] Eromar. Consulta 04/02/2018. Disponible en: <http://www.eromar.es>
- [10] Facnor. Consulta 04/02/2018. Disponible en: <http://www.facnor.com>
- [11] Navtec. Consulta 12/02/2018. Disponible en: <http://www.navtecriggingsolutions.com>
- [12] Velas y viento. Consulta el 15/02/2018. Disponible en: <https://velasyviento.com>
- [13] Real Club Náutico de Barcelona. Consulta el 15/02/2018. Disponible en: <http://www.rcnb.com>
- [14] Jaunpa News. Consulta el 03/03/2018. Disponible en: <http://www.juanpanews.com>
- [15] Nautic Expo. Consulta el 15/03/2018. Disponible en: <http://www.nauticexpo.es>
- [16] Yacht World. Consulta 5/03/2018. Disponible en: <https://www.yachtworld.es>
- [17] Marlow. Consulta 20/04/2018. Disponible en: <https://www.marlow.com>
- [18] The rigging point. Consulta 25/04/2018. Disponible en: <http://theriggingpoint.com>
- [19] Wireteknik. Consulta 28/04/2018. Disponible en: <http://www.wireteknik.se>

- [20] Sail and trip. Consulta 13/05/2018. Disponible en: <https://sailandtrip.com>
- [21] Antal. Consulta 20/05/2018. Disponible en: <https://antal.it>
- [22] Fondear. Consulta 22/05/2018. Disponible en: <http://www.fondear.com>
- [23] Cruiser-racer. Consulta 10/06/2018. Disponible en: <https://cruiser-racer.com>
- [24] Cosas de barcos. Consulta 10/06/2018. Disponible en: <https://cosasdebarcos.com>
- [25] Hanse. Consulta 10/06/2018. Disponible en: <https://www.hanseyachts.co.uk>
- [26] X-Yachts. Consulta 10/06/2018. Disponible en: <https://www.x-yachts.com/en/>
- [27] Aps. Consulta 12/06/2018. Disponible en: <http://www.apsltd.com>
- [28] Satlok. Consulta 12/06/2018. Disponible en: <https://www.stalok.com>
- [29] Navtec. Consulta 12/06/2018. Disponible en: <http://www.navtecriggingsolutions.com>

